

TORRENTS, BARRANCS I CANALONS, la xarxa de drenatge del Migjorn

Francesca Segura Beltran¹, Josep E. Pardo Pascual² i Jesús M. Palomar Vázquez²

¹ Departament de Geografia. Universitat de València

² Departament d'Enginyeria Cartogràfica, Geodèsia i Fotogrametria. Universitat Politècnica de València

INTRODUCCIÓ

A primer cop d'ull Menorca és una illa gairebé plana. El Toro, amb 361'6 m, n'és la màxima elevació, mentre que el Migjorn és una plataforma miocènica escullosa (Fornós i Obrador, 2003), quasi horitzontal i a la Tramuntana sovintegen els petits turons de desnivells magres (Pardo, en aquest volum). Tanmateix, si ens endinsem al Migjorn, el paisatge canvia de mica en mica. La plataforma, que oscil·la entre els 120 m i el nivell de la mar, està fendida per pregons canyons fluvials, —de parets quasi verticals i desnivells que voregen el centenar de metres— al final dels quals es troben les cales. L'envergadura dels canyons és prou per a haver condicionat les comunicacions: la principal carretera de l'illa està traçada per la Mitjanja, enllaçant les planes que hi ha entre els turons. Intentar travessar l'illa pel sud en cotxe esdevé una tasca gairebé impossible, perquè cal salvar forts desnivells continuament.

Si aquest és un dels trets més significatius del sector central de l'illa, també crida l'atenció l'absència de cursos fluvials a ponent i a llevant de la plataforma. Quan hom mira el mapa s'adona de seguida que a les rodalies de Ciutadella i de Maó no hi ha torrents de cap tipus, la qual cosa contrasta clarament amb el que s'ha dit abans.

Analitzar aquesta realitat aparentment contradictòria, és l'objectiu principal d'aquest capítol. Tractar d'esbrinar les causes de l'existència o absència de canals i fer una anàlisi morfològica, a la vegada que trobar explicacions sobre la gènesi i evolució d'aquesta xarxa, són tasques indefugibles, un cop observada aquesta realitat al camp.

L'espai definit com a àrea d'estudi es limita fonamentalment a la plataforma miocènica; per tant, considerarem l'espai comprès al sud de la línia que va des de Maó a Ciutadella, incloent també la part de plataforma que queda al nord de Ciutadella fins a cala Morell. No obstant això, de vegades farem referència al conjunt de l'illa, sobretot quan es consideren trets generals del drenatge.

LES CONQUES DE DRENATGE DE L'ILLA DE MENORCA

La delimitació de les conques s'ha fet de manera automàtica a partir d'un model digital d'elevacions,¹ amb un valor de píxel de 10 x 10 m, tasca que haguera estat molt difícil a partir

Fornós, J.J., Obrador, A. i Rosselló, V. M. (eds.), 2004, *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 129-156.

¹ El MDE s'ha elaborat a partir del mapa Topogràfic Balear a escala 1/5000 de la Conselleria d'Obres Públiques, Habitatge i Transport. Es pot trobar una descripció més extensa del procés de creació d'aquest MDE a l'article de Pardo i Porres (en aquest volum).

de la cartografia tradicional o de la fotografia aèria, ja que es tracta d'un espai ondulat, amb divisòries molt subtils. En total s'han definit 64 conques, 31 de les quals es localitzen a la plataforma miocènica. De més, hi ha tot un seguit de conques minúscules localitzades a la costa que no s'han considerat degut a la seua dimensió insignificant.

Forma i dimensions de les conques

En general les superfícies drenades són molt reduïdes, ja que no cal oblidar que el conjunt de l'illa només abasta 716 km². L'àrea mitjana seria d'uns 11 km², però en realitat oscil·len entre les 39 ha de la n^o 5 i les 5449'14 de la n^o 9. Entre aquests dos extrems hi ha una gran variabilitat de valors (Fig. 8.1). Les conques més petites (compreses entre 39 i 368 ha) es distribueixen de manera uniforme per tota l'illa. Corresponen a petits barrancs que drenen directament a la mar, i al cas del Migjorn, solen estar penjats sobre els espadats de la costa.

Entre 368 i 921 ha el nombre de conques disminueix, però també es distribueix de manera homogènia per tota l'illa, encara que les seues xarxes de drenatge penetren més a l'interior. El següent tram abasta fins a 1758 ha i, en aquest cas, es localitzen sobretot al Migjorn, tant al sector oriental com a l'occidental i fins i tot a la part central. Les conques que tenen entre 1758 i 3371 ha són fins i tot més abundants que les del tram anterior i es troben fonamentalment al sector central de l'illa, tant a Tramuntana com a Migjorn (45-47), encara que també n'hi ha dues a la part oriental (4, 64) i altres dues a l'occidental (36, 40). Per últim, les dues conques majors són la 9 (5449'14 ha) i la 57 (4473), situades a la part occidental de l'illa.

Pel que fa a la forma, val a dir que l'observació del mapa anterior ens mostra que hi ha conques allargassades i d'altres més arrodonides. Per tal d'objectivar aquest tret, s'ha definit el factor de compacitat, emprat per Gravelius (Gregory i Walling, 1983) com a:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

on, **A**= àrea i **P**=perímetre. Aquest coeficient és igual a 1 quan la conca és circular, a 1'128 quan és quadrada i pot assolir valors fins a 3 quan és molt allargassada. D'acord amb la figura 8.2, les conques quasi quadrades voregen tota l'illa i a prou penes tenen xarxa de drenatge ben definida. A continuació, amb formes més allargades estan les conques del sector occidental (31, 37, 40) i també algunes de la part oriental (63 i 64). El tram més ben representat seria el comprés entre 1'62 i 1'82, valors ja prou elevats que indiquen conques molt allargades. Es localitzen a tot el Migjorn, entre la conca 42 i la 60, sent la 44, 49 i la 52 les que presenten els valors més elevats, juntament amb la 9 i la 18, situades ja a Tramuntana. A grans trets podríem dir que les conques més allargades corresponen al sector central del Migjorn, sent una mica més arrodonides a llevant i a ponent.

La integral hipsomètrica

La corba hipsomètrica d'una conca de drenatge és un diagnòstic sobre la seua elevació; és a dir, expressa el percentatge de superfície que hi ha per damunt d'una altitud determinada. La integral hipsomètrica, és una altra manera de representar el relleu d'una conca, ja que és la relació entre les àrees que estan per damunt i per davall de la corba hipsomètrica. Els valors pròxims a 1 indiquen que la conca no ha estat buidada per la xarxa de drenatge; per contra, els valors pròxims a 0 indiquen relleus suaus, que corresponen normalment a conques evolucionades i erosionades (Strahler, 1981; Llamas, 1993).

Els valors de la integral hipsomètrica de totes les conques de l'illa (Fig. 8.3) són certament desconcertants. A grans trets, tota la Tramuntana presenta valors inferiors a 0'5 — a la part central no arriben a 0'35—, tot indicant que són conques buidades, la qual cosa concorda amb l'alternança de turons i depressions que hi ha, tant a la capçalera dels barrancs (la Mitjana), com a la desem-

Fig. 8.1. Superfície de les conques de drenatge de l'illa de Menorca expressada en hectàrees.

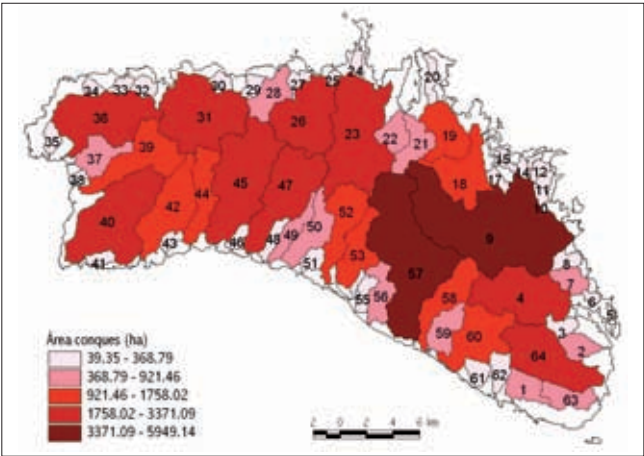


Fig. 8.2. Índex de compacitat de Gravelius (Gregory i Walling, 1983) de les conques de drenatge de Menorca.

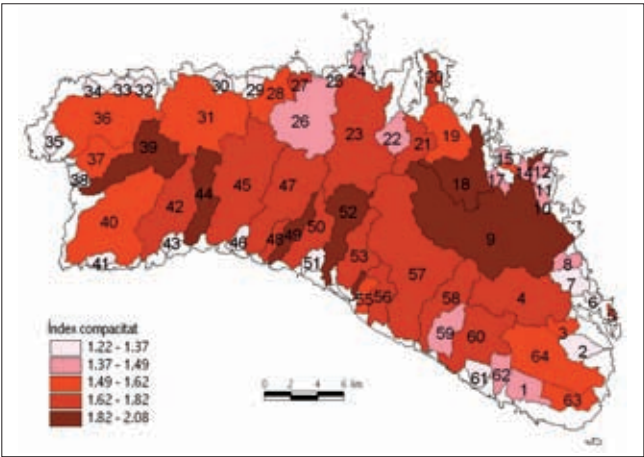
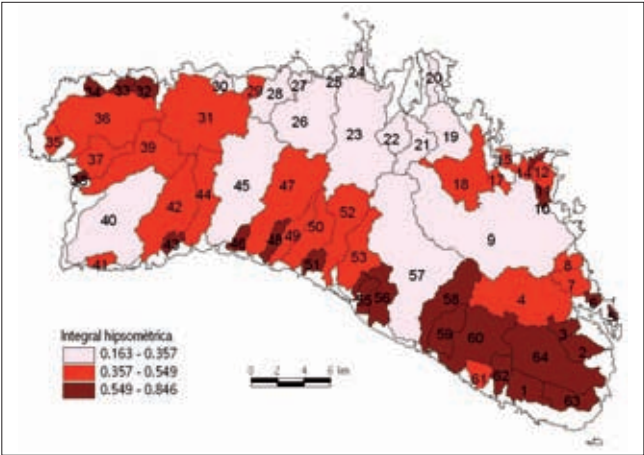


Fig. 8.3. Valors de la integral hipsomètrica de les conques.



bocadura. El buidatge cal suposar que l'ha fet la xarxa fluvial; una altra qüestió ben diferent és precisar si els responsables d'aquesta tasca erosiva són els torrents actuals o és una herència d'èpoques anteriors.

A la plataforma miocènica, també hi ha tres conques amb un gran buidatge: la 40, 45 i 57. Les dues últimes tenen torrents que han travessat a Tramuntana, captant els espais plans de la Mitjania, cosa que dóna un gran percentatge de zones planes en el conjunt de la conca. En canvi, la conca 40, amb una xarxa escassa i discontinua, és molt mala de justificar.

La resta de conques de la part central i occidental del Migjorn, tenen també valors baixos d'integral hipsomètrica. En el primer grup, el bon desenvolupament de la xarxa justifica una erosió important, que ha rebaixat el relleu. En el segon sector, el buidatge no s'explica per l'erosió fluvial, ja que la xarxa de drenatge és quasi inexistent. En tot cas, caldria parlar de unes conques sense relleu, que possiblement han patit un enfonsament, que seria més palès encara a la conca 40 anteriorment esmentada. El resultat seria una hipsometria "perfecta", encara que de tipus estructural i no pas erosiu.

Un tercer grup presenta valors superiors a 0'5, tot indicant que són conques massisses sense desnivells importants. En aquest grup, situat bàsicament a la part oriental de l'illa, l'absència de xarxa de drenatge real justificaria la manca d'erosió. També entrarien dins d'aquest grup les petites conques del Migjorn intercalades entre les xarxes principals.

En realitat, parlar de la integral hipsomètrica té molt de sentit en conques purament fluvials, formades sobre relleus importants, però al cas de Menorca, la significació de la integral és lleugerament diferent. Les conques de valor baix en realitat són les que tenen poc relleu i un perfil longitudinal concav, mentre que les de valors elevats, són massisses o fins i tot amb perfil convex. En realitat hom està expressant la topografia d'unues conques que en alguns casos no està definida per l'erosió dels torrents, sinó per qüestions purament estructurals.

Els pendents i les conques

Les conques de drenatge definides amb el model digital d'elevacions presenten pendents mitjans molt diferents: els valors més elevats es troben a Tramuntana i al sector central de Migjorn, mentre que a la part occidental i a l'oriental es redueixen considerablement (Fig. 8.4) (veure Pardo i Porres, en aquest volum) .

Però, de més a més, si aquesta variable es relaciona amb la superfície de les conques, el gràfic anterior canvia molt. La figura 8.5, que representa la *ratio* superfície/pendent mitjançant un diagrama de barres, mostra com la part central de l'illa té els valors més baixos, tot indicant que la superfície és elevada i els pendents també. A la part oriental, els valors s'incrementen, suggerint àrees grans i pendents escassos, la qual cosa s'accentua encara més a la part occidental, on la relació dóna els valors màxims.

De la figura 8.5 també se'n pot fer una altra lectura ben interessant si observem la forma de les conques i la distribució de pendents. Les del Migjorn són estretes i allargassades a la vora del mar i es van eixamplant cap a la capçalera, formant xarxes en forma d'espiga. L'arrodoniment de les conques esdevé més palès a mesura que ens endinsem a Tramuntana. Aquest tret és pot interpretar a la llum de la tectònica i pot completar fins i tot algunes teories formulades d'antuvi (Gelabert *et al.*, en premsa). En efecte, el sector central de l'illa s'ha aixecat formant un anticlinal d'un ampli radi de curvatura, però observant les conques, els pendents i la forma de l'illa, podríem aventurar la hipòtesi que la compressió no ha estat uniforme, sinó que l'illa ha estat plegada com un acordió lleugerament més tancat pel Migjorn que per Tramuntana. La major pressió exercida sobre la part meridional, hauria fet que les línies de debilitat estiguessen més pròximes, facilitant així la formació de conques estretes, que s'eixamplarien a les zones menys comprimides de Tramuntana.

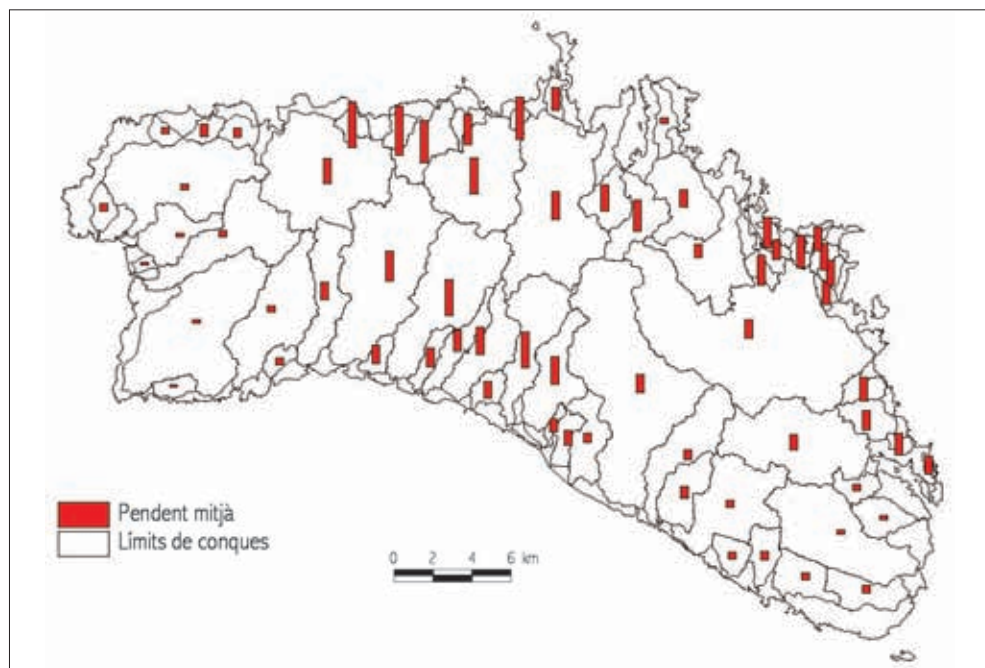


Fig. 8.4. Pendent mitjà de les conques de drenatge.

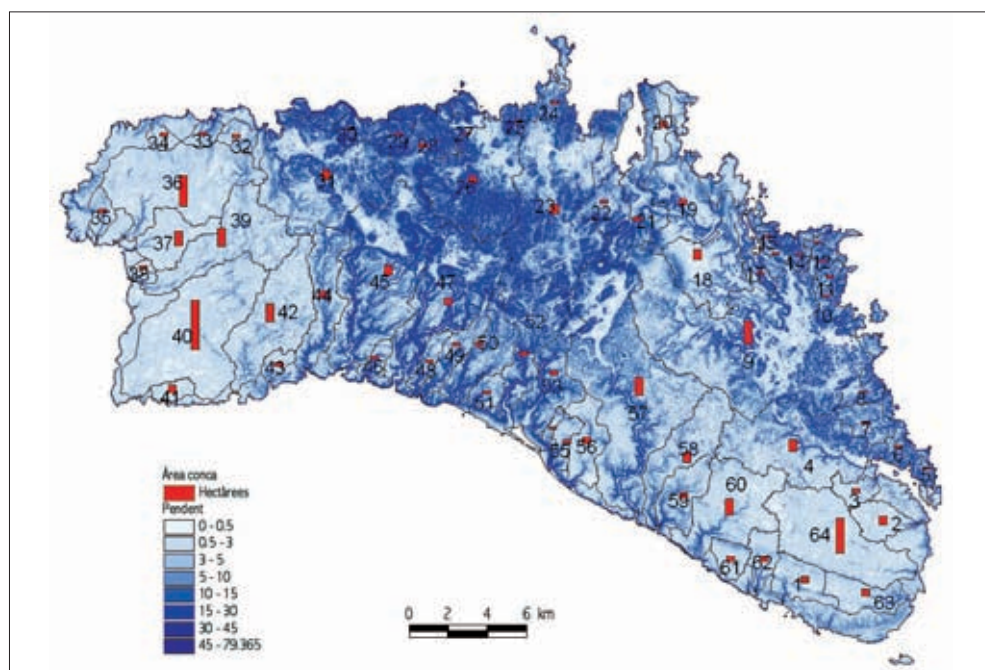


Fig. 8.5. Mapa de pendents de l'illa de Menorca extret del model d'elevacions. Sobre cada conca s'ha expressat mitjançant una barra la *ratio* superfície/pendent.

LA XARXA DE DRENATGE REAL I LA SIMULADA

El torrents de l'illa de Menorca no estan distribuïts de manera uniforme sobre el territori, ja que es concentren a Tramuntana i al sector central del Migjorn.² L'absència de drenatge als dos extrems de l'illa és ben desconcertant, ja que la continuïtat litològica de tot el Migjorn no ho justifica (Fig. 8.6 a). Però encara ho és més quan es compara amb la xarxa generada a partir del model digital d'elevacions. El procediment per a extraure una xarxa d'aquestes característiques es basa en definir la direcció dels fluxos (que depèn dels pendents) i especificar un nombre de cel·les o píxels drenants (200 en el cas considerat, és a dir, 2 hectàrees) (O'Callahan i Mark, 1984). Per aconseguir que aquesta metodologia funcioni, cal prèviament assegurar que hi ha interconnexió hídrica dins el model, el que s'aconsegueix alterant el model digital d'elevacions mitjançant un algorisme amb el que es reomplen les depressions (Jenson i Domingue, 1988). La diferència de traçat entre la xarxa simulada i la real és un dels problemes més habituals quan es treballa amb models hidrològics i, per tal d'aconseguir la major fidelitat a la realitat, existeixen en la bibliografia nombroses propostes (Quinn *et al.*, 1991, Costa-Cabral i Burges, 1994, Tarborton, 1997, López-García i Camarasa, 1999, Turcotte *et al.*, 2001, Vogt *et al.*, 2003, Maestro *et al.*, 2003). Ara, el cas que ens ocupa és ben particular: la discrepància es mínima allà on hi ha canals, però hi ha dos sectors sobre la plataforma miocènica, l'oriental i l'occidental, on la coincidència es limita a la desembocadura per les cales (Fig. 8.6 b).

La interpretació d'aquest fet és mala de fer, atesos els factors de formació de les xarxes fluvials, però val a dir, que, d'acord amb el model d'elevacions, la disposició del relleu permetria la seva gènesi i, si no existeix, és perquè hi ha altres condicionants que malbaraten aquí aqueixa possibilitat.

Un dels factors més importants que condiciona el drenatge és el pendent. A la figura 8.7, que representa la xarxa de drenatge i el mapa de pendents, s'observa que hi ha una associació clara entre ambdues variables: els barrancs es formen a les zones amb majors pendents. Més encara, hi ha una concordança entre la xarxa i els pendents superiors a 5°, tant a Migjorn (conques 44 a 57) com a Tramuntana.

La quasi absència de canals es fa palesa a les conques 37, 39 i 40 del sector occidental i a la 58, 59, 60, 64, 2, 63, 61, 62 i 1, a la part oriental. Sobre aquestes conques és possible la formació d'una xarxa de drenatge —tal i com mostra la xarxa simulada (Fig. 8.6 b), però la realitat no ho confirma. El territori gaudeix, per contra, d'una xarxa real, encara que poc densa. No obstant això, tota la xarxa dibuixada al mapa topogràfic (Fig. 8.7) no té la mateixa significació: de més a més dels torrents (en color morat) n'hi ha una part, classificada com a canals (en verd), que són cursos de traçat modificat o creat per l'home. En el segon cas estariem parlant d'una xarxa artificial, oberta per l'home en aquelles zones quasi planes on el drenatge és difícil, la qual cosa justifica la forta coincidència entre els canals artificials i les superfícies amb pendents inferiors a 5° (Fig. 8.7).

A la zona del Migjorn, la xarxa artificial està ben present a les conques 45, 47, 52, 53, 56 i 57, incrementant la seua presència des de l'oest cap a l'est, i des de la costa cap a l'interior, de manera que les conques occidentals només tenen artificial la zona de la Mitjania, però a la part oriental, la conca 57 té tot el seu caixer canalitzat.

A la part de Tramuntana la interpretació no és gaire fàcil perquè el trencaclosques litològic complica les relacions entre els factors que intervenen en la formació d'una xarxa. No obstant això, també es compleix que la major part de la xarxa natural es desenvolupa amb pendents superiors als 5°, però quan els barrancs arriben als plans, amb pendents migrats, és l'home qui ha de crear el drenatge.

A la resta del territori, la coincidència dels sectors finals pròxims a la desembocadura (conques 36, 37, 42, 59, 60, 62, 63, etc.), fa pensar, que malgrat la indefinició dels canals,

² S'ha pres com a xarxa real la representada al mapa topogràfic 1/5000 de la Conselleria d'Obres Públiques, Habitatge i Transport.

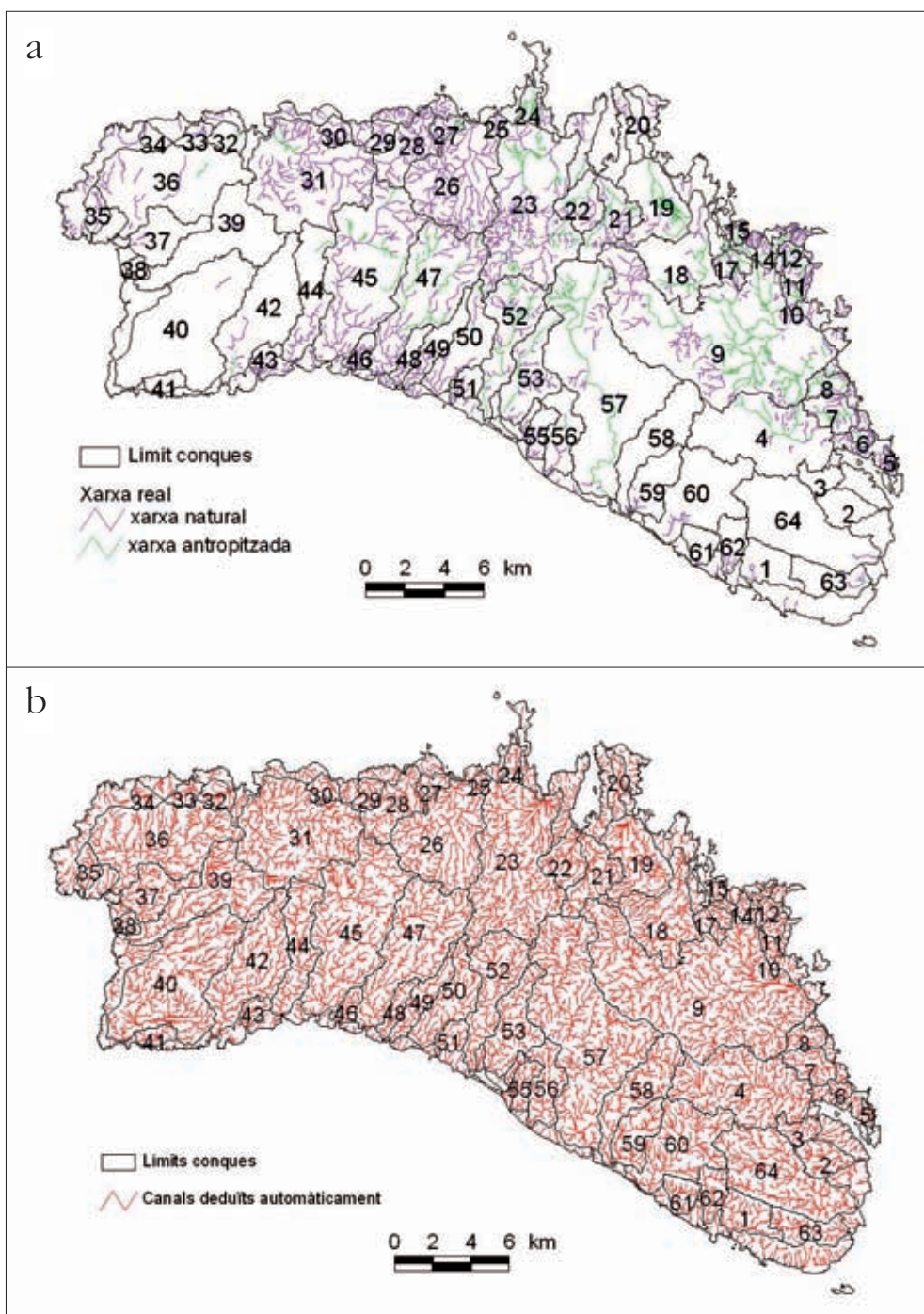


Fig. 8.6. a) Xarxa de drenatge real extreta a partir del mapa 1/5000. En morat apareixen els canals naturals i en verd els antropitzats.
b) Xarxa de drenatge simulada a partir del model d'elevacions, amb 200 cel·les drenants.

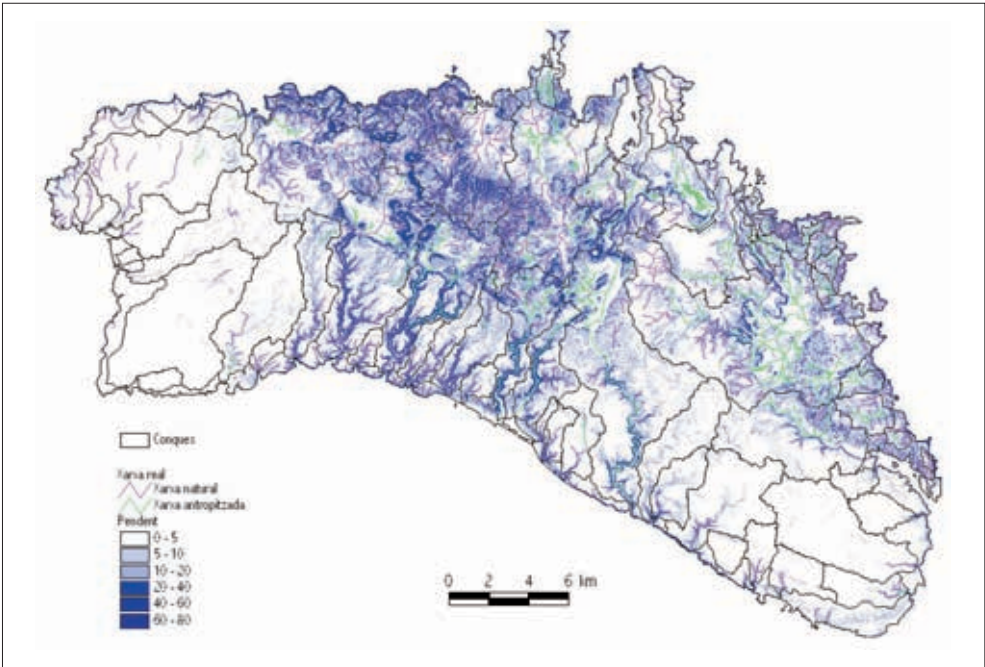


Fig. 8.7. Mapa de pendents de l'illa i xarxa de drenatge real, on s'observa la forta coincidència dels barrancs amb les zones amb pendents superiors a 5°; la xarxa antropitzada es localitza fonamentalment en les zones amb pendents inferiors.

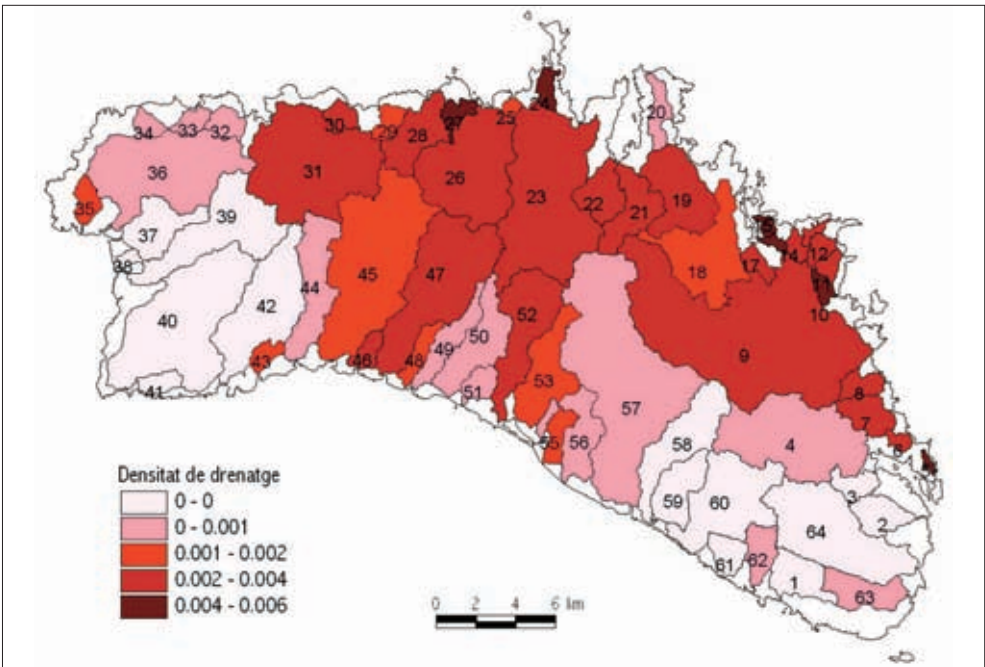


Fig. 8.8. Densitat de drenatge de la xarxa real expressada en m/m².

pot haver-hi una continuïtat hidrològica en els episodis extrems. L'evanescència dels caixers no implica de cap manera la desaparició de l'aigua; ben al contrari, quan els cabals són prou importants, cal suposar que hi ha continuïtat del fluxos fins que aboquen a la mar.

Forma, orientació de la xarxa i tectònica

La xarxa de drenatge del Migjorn té un traçat clarament influenciat per la tectònica (García Senz, 1985; Gelabert *et al.*, en premsa; Gelabert en aquest volum) (Fig. 8.6). Les direccions de drenatge, tant de la xarxa simulada com de la real, canvien espacialment de forma progressiva en sentit contrari a les busques del rellotge. Així, a la part occidental, a la conca 36 la xarxa corre en direcció N-S, però entre la conca 37 i la 42, les direccions canvien a NNE-SSW. A la conca 44 sembla que domina altra vegada una direcció N-S, però a les conques veïnes (entre la 45 i la 55) es recupera novament l'orientació NNE-SSW. La xarxa gira uns 30° cap a l'oest a les conques 56 i 57 per a assolir una direcció NNW-SSE, però novament es produeix un canvi entre la 58 i la 60, recobrant l'orientació NNE-SSW. A les conques 61 i 62 la xarxa sembla que volta cap al nord, però immediatament a les conques 1, 63 i 64, s'imposa l'orientació E-W.

Per altra part, la plataforma miocènica no sembla afectada per falles importants, almenys en superfície (Borrouilh, 1983). Tanmateix, l'anàlisi de les fractures en 10 punts de la costa mostra com la direcció dels torrents s'adapta perfectament a la de les fractures (Gelabert, 2003; Gelabert *et al.*, en premsa). Les direccions mesurades al camp, així com l'existència de perfils sísmics a la plataforma, suggereixen la idea que l'illa ha patit un bombament de la part central. La inversió d'una gran falla del sòcol (que discorre entre els plans d'Alaior i Son Bou) hauria format un anticlinal probablement dissimètric (més alt a la part oriental que a l'occidental) (Gelabert *et al.*, en premsa). Els esforços tectònics haurien provocat la formació de nombroses fractures aprofitades per la xarxa de drenatge. La forma allargassada de les

conques i la disposició paral·lela de la xarxa del sector central (Fig. 8.6) casarien també amb aquesta hipòtesi.

La zona central no hauria suportat bé la compressió i s'hauria trencat en petits blocs a la costa, com s'esdevé a Son Bou i Sant Tomàs (Segura, Pardo i Servera, 1999) i s'ensuma a l'arc que va des de la talaia d'Artrutx fins a Sant Tomàs. L'existència de fractures paral·leles a la costa concordaria també amb la gran quantitat de petits afluents que es disposen paral·lels a la costa a ben pocs metres de la mar, aprofitant les línies de debilitat. De més a més, també podria explicar els canvis en la direcció de drenatge que es produeixen a les conques 42 i 44 a pocs quilòmetres de la costa o més endins a la 45 i la 47 (zones de Binissaid i Son Olivar) on hi ha una alineació clara entre un afluent del barranc d'Algondret i els colzes –que quasi provoquen una captura– dels torrents de Trebalúger i Son Fideu (Rosselló en aquest volum).

Pel que fa a Tramuntana, el model de xarxa canvia radicalment: hi dominen les xarxes dendrítiques, en concordança amb el major arrodoniment de les conques. Aquesta condició és palesa sobretot a les conques 31, 26, 23 i 9, entre altres i les direccions de drenatge no semblen tant influïdes per la tectònica, almenys en el mateix grau que al Migjorn. Pot ser, en aquest cas, la gran variabilitat litològica i estratigràfica siga més responsable que la tectònica.

Una altra qüestió interessant és el paper que juguen les crestes o esglaons esmentats en altres treballs d'aquest llibre (Pardo i Porres, en aquest volum; Rosselló en aquest volum) en la formació de les conques de drenatge i en el traçat de la xarxa. Al sector occidental constitueixen les capçaleres dels barrancs, ja que en una zona tan plana com aquesta, són els relleus més significatius. Al sector central la influència sobre la xarxa no n'és tan clara, encara que, com s'explica més endavant, suposen un obstacle per als perfils dels rius. Les conques més importants excedeixen sense cap problema les crestes, però les més petites a prou penes les ultrapassen (46, 48, 54, 55). L'efecte és, en canvi, molt clar al sector oriental on les crestes constitueixen les divisòries

septentrionals d'algunes conques i són responsables de la direcció dominant del drenatge E-W (61, 1, 63). No obstant això, en altres casos els barrancs les travessen descrivint només algun colze i alguna irregularitat al seu perfil. No són per tant, un obstacle fonamental en la formació dels barrancs tot i que influeixen en el seu perfil.

La densitat de drenatge

La xarxa de drenatge de la plataforma calcària és poc extensa, per la qual cosa les densitats, expressades en m/m^2 , són molt baixes (Fig. 8.8). En tots els casos són valors inferiors a 1, característics de zones amb materials molt durs o rocam molt permeable. És evident que al cas de Menorca la causa fonamental és la permeabilitat del calcari escullós i de les calcarenites de la "Unitat inferior de Barres", associada tant a la permeabilitat primària d'aquests materials com a l'abundància de diàclasis i d'avencs, que faciliten l'escolament subsuperficial. Tampoc no s'ha de menysprear la coberta vegetal, ja que l'illa gaudeix d'una vegetació prou espessa. Les herbàcies de pastura donen un elevat grau de recobriment al sòl —encara que són litosòls de poca potència—, que disminueix l'escolament superficial. Al mateix temps, als fons dels barrancs (canalons), l'home ha retingut els sediments amb les tanques per tal d'assegurar els conreus, la qual cosa actua com una esponja a l'hora de emmagatzemar l'aigua.

Les conques de Tramuntana són les que tenen majors densitats a causa del seu rocam prou impermeable. Al Migjorn, el sector central posseeix una densitat més elevada, mostrant novament un comportament diferencial respecte a la resta de la plataforma calcària. Dins d'aquest sector són les conques 46, 47 i 52 les que tenen una xarxa més atapeïda, seguides per les 43, 45, 48, 53 i 55. La transició cap a les zones de menys densitat es fa a través de les conques 44, 56 i 57.

A la part occidental destaca la conca 36, que malgrat la seva xarxa discontinua, presenta uns quants canals a la capçalera del barranc

de Ciutadella. La resta fins al cap d'Artrux a penes té drenatge. Pel que fa al sector oriental, els torrents només apareixen a les conques 4, 62 i 63, mentre que la resta presenta una correntia superficial molt escassa.

Novament la major densitat que enregistra el sector central, que té la mateixa constitució litològica que la resta de la plataforma, fa pensar en una xarxa de drenatge potenciada per la tectònica i dificultada per una litologia molt permeable.

El carst i la xarxa de drenatge

El paper del carst en el modelat de la plataforma calcària de l'illa ha estat analitzat per diversos autors en els darrers anys (García Senz, 1985; Segura, Pardo i Servera, 1999; Ginés, 2003; Rosselló, 2003; Ginés i Fornós, en aquest volum). Les ondulacions que dominen tot el paisatge donen idea de la formació de dolines i/o pòlies sobre una litologia calcària molt permeable, com acostumen a ser les formacions d'esculls de corall. El paper que han tingut aqueixos processos càrstics en la formació i en la discontinuïtat de la xarxa de drenatge ha estat molt important. Segons Ginés i Fornós (en aquest volum), les diferències litoestructurals detectades entre el sector central del Migjorn i els extrems oriental i occidental justifiquen un comportament diferencial del carst. Així, al sector central —on apareix la "Unitat de Barres", prou impermeable— abunda les coves de desenvolupament horitzontal, que en alguns casos han tingut com a nivell de base els barrancs encaixats. Als altres sectors —amb presència de la "Unitat Escullosa", molt permeable— dominaria el carst litoral i les dolines tenen una major presència. L'absència de drenatge pot estar condicionada fins i tot per les característiques de la unitat escullosa: l'elevada porositat d'aquest tipus de materials pot inhibir fins i tot l'aparició de la xarxa de drenatge (Smith, 1975).

Una anàlisi acurada de les àrees deprimides amb profunditat superior a 1 m, feta a partir del model digital d'elevacions (Fig. 8.9) mostra una distribució generalitzada al conjunt

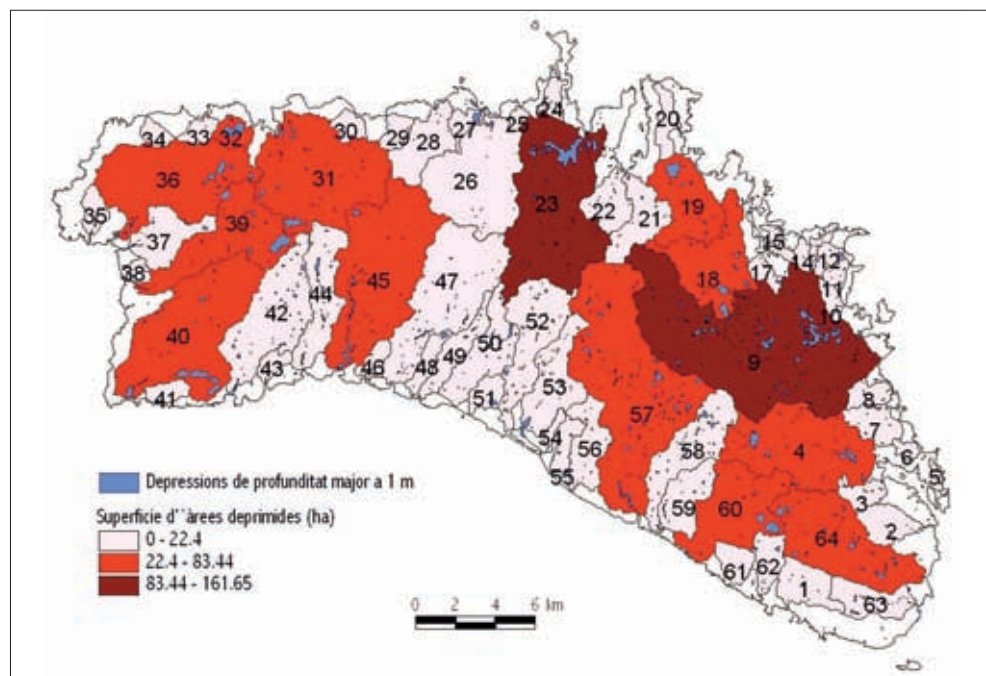


Fig. 8.9. Depressions superiors a 1m i superfície (en ha) que representen a cada conca.

de l'illa. Les nombroses zones deprimides que hi apareixen tenen una significació diferent segons la seua ubicació. Així, per exemple, a la zona de contacte entre Migjorn i Tramuntana, hi ha espais plans i deprimits, normalment sobre materials blans (argiles) que han estat buidats per l'erosió en temps passats. Tanmateix, si ens centrem a la zona de Migjorn, la significació dels espais deprimits té molt a veure amb els processos càrstics (Ginés i Fornós, en aquest volum).

D'acord amb el mapa, les conques 9 i 13 són les que tenen la major extensió de zones deprimides i tancades (entre 83'44 i 161'65 ha). Una gran part d'aquestes superfícies poden ser d'origen càrstic —es localitzen a Tramuntana sobre materials calcaris del secundari—, però també compten amb espais semiendorreics com ara l'albufera des Grau o l'estany de Binidonaire a cala Tirant. Al Migjorn, apareixen clarament definides tres zones: a la part occidental totes les conques tenen entre 22'4 i 83'44 ha d'espais deprimits, excepte la conca

37; a la part oriental passa el mateix a les conques 4, 60 i 64; a la resta, les superfícies tancades no superen les 22'4 ha, però les conques 45 i 57 constitueixen una excepció per l'abundància de clots.

En qualsevol cas, les depressions de les conques 36, 39, 40, 60 i 64 criden l'atenció per les seues dimensions. Les dues primeres se situen a la capçalera dels barrancs de cala Santandria i la del barranc de Ciutadella, a la zona de Son Morell de Dalt i de Baix i Binigafull. Un poc més al sud, a la conca 40, hi ha la gran depressió de Sant Joan de Missa i la de sa Marjal Vella i es Prat. A la part oriental, les depressions pròximes a Sant Climent i a l'aeroport (conques 60 i 64) són dolines ben desenvolupades (Rosselló, en aquest volum). La resta són de petites dimensions i les que més criden l'atenció són les que hi ha a l'interior dels barrancs. Les conques 45, 50 o 57 són exemples ben espectaculars que mostren un enfilall de depressions que perfila perfectament el traçat dels rius. La deficient circulació

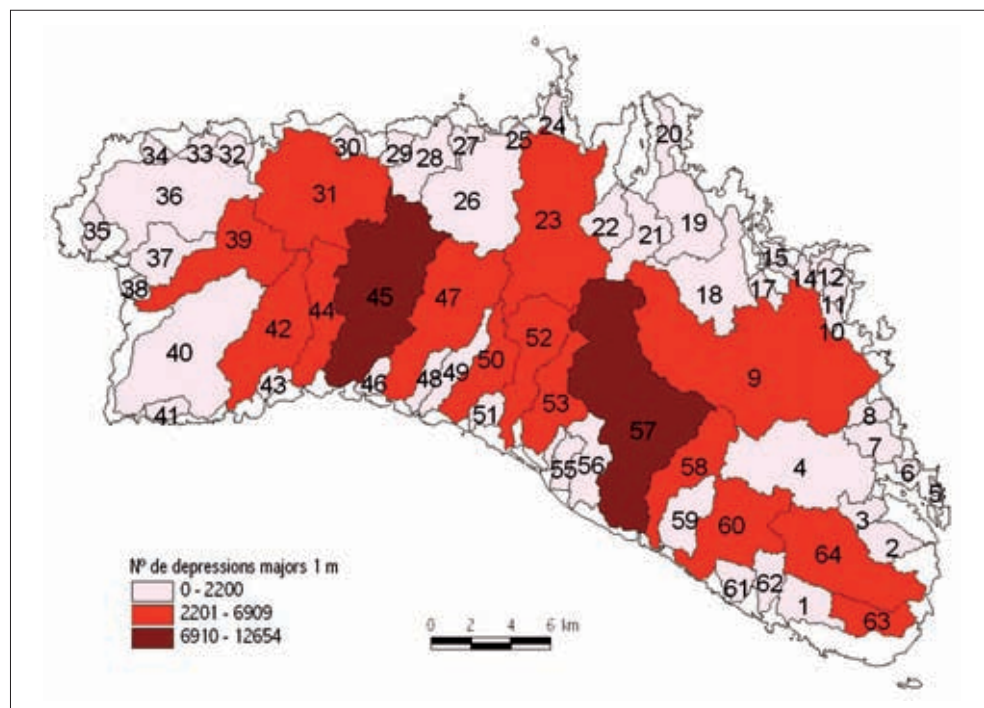


Fig. 8.10. Nombre de depressions tancades de dimensions superiors a 1 m existents a cada conca.

de l'aigua a l'interior dels caixers ha fet que, fins i tot en els que estan més encaixats, l'home s'haja vist obligat a canalitzar les aigües.³

Per altra banda, el nombre de depressions que hi ha a cada conca aporta informació sobre el seu funcionament hídric. El mapa de la figura 8.10 pràcticament inverteix els resultats de l'anterior: el sector central del Migjorn és el que té més depressions, especialment les conques 45 i 57, mentre que els dos extrems en tenen poques. O, dit d'un altra manera, el sector central té moltes concavitats de petites

dimensions, —localitzades la majoria al fons dels barrancs—, mentre que el sector oriental i l'occidental posseeixen menys espais deprimits però de majors dimensions.

El paper de les dolines en la gènesi dels barrancs és clar, ja que en molts de casos han estat capturades pels barrancs. Un bon exemple és la conca 44, la del barranc de Santa Anna (cala Macarella i Macarelleta) on a l'altura de Torrepàtxina Nova i una mica més al nord n'hi ha dues de capturades. També és ben interessant la morfologia del barranc d'Algendar, que, en arribar prop de cala Galdana, descriu tres meandres que poden ser col·lapses de coves càrstiques o dolines (Rosselló, en aquest volum). La forma completament rodona dels meandres i les dificultats de drenatge indiquen un origen clarament càrstic. També la capçalera de molts d'afluents són dolines capturades tal i com mostra la fotografia aèria o fins i tot el mateix mapa de pendents.

³ Les depressions localitzades a l'interior dels barrancs poden ser errònies en alguns casos, ja que les canalitzacions artificials poden provocar desnivells que capta el model digital d'elevacions. A més, degut al procés de creació del MDE —que es fonamenta en la realització d'una triangulació irregular— en zones molt còncaves, com són alguns barrancs, i algunes zones molt convexes poden generar-se falses planes i fins i tot espais falsament deprimits que no són més que artificis del model.

Els perfils longitudinals

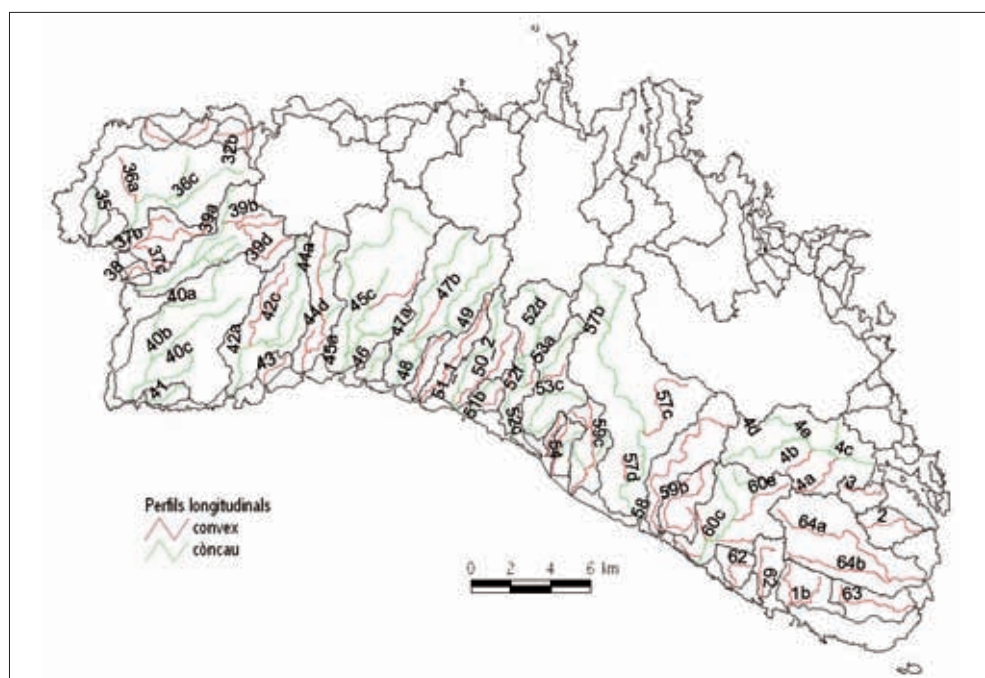
Els perfils longitudinals dels barrancs del Migjorn de Menorca són molt variats, ja que n'hi ha de còncaus i de convexos i entremig, totes les variants possibles. Els perfils còncaus suposen un grau de maduresa important, ja que s'assemblen al perfil d'equilibri teòric i minimitzen les despeses d'energia (Gregory i Walling, 1983; Knighton, 1998). Entre els factors que expliquen la concavitat, es poden senyalar els següents: *a)* una *ratio* de relleu relatiu elevada; *b)* disminució del diàmetre de les partícules, i *c)* increment del cabal al llarg del riu (Knighton, 1998).

Els perfils convexos són indicatius d'una incapacitat del riu per a regularitzar el seu perfil. Entre les causes que expliquen les convexitats, cal indicar les següents: *a)* estrats més resistents, *b)* increment del volum o del diàmetre dels sediments, *c)* activitat tectònica, *d)* descens del nivell de base (Knighton, 1998). En qualsevol cas, s'associen a rius immadurs que estan molt lluny d'aconseguir l'equilibri. Entre

ambdós extrems hi ha perfils rectes, concavo-convexos o convexocòncaus.

L'anàlisi dels perfils del Migjorn ens permet una regionalització relativa: a la part occidental predominen els perfils còncaus; a l'oriental els convexos i a la central hi ha una mescla de les dues tipologies (Fig. 8.11).

La concavitat dels perfils de la part occidental s'atribueix a un enfonsament de la part baixa (especialment la 40 o barranc de la Cala d'en Bosc) (Fig. 8.12), de manera que la disposició dels pendents dóna un perfil còncau. És un relleu que potencialment pot desenvolupar una xarxa capaç d'evacuar l'aigua, encara que l'absència de lleres suggereix precisament un possible enfonsament i un notable funcionament de l'escolament subsuperficial. De fet, l'absència d'espadats costaners fa que ni tant sols a la costa s'hagi desenvolupat una xarxa incipient (Fig. 8.6 b). Pel que fa al sector oriental (Fig. 8.13) els perfils convexos indiquen que la xarxa ha estat incapaç de tallar els espadats de la plataforma que roman penjada. L'escàs desenvolupament de la xarxa



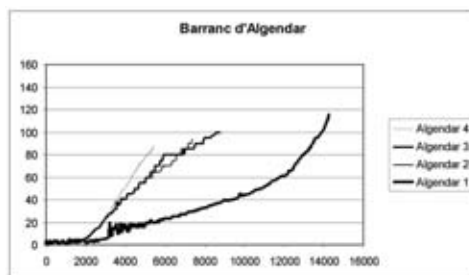
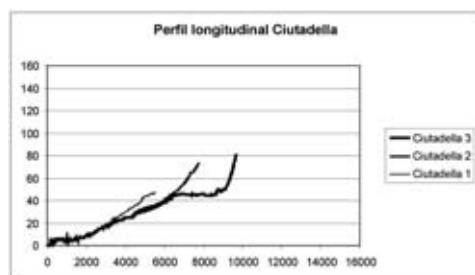


Fig. 8.14. Perfil longitudinal del barranc d'Algendar (conca 45).

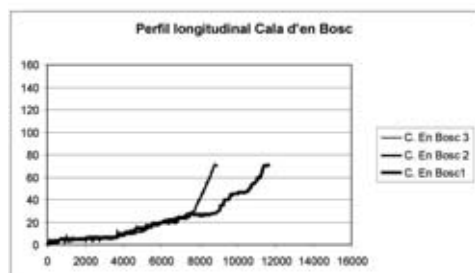


Fig. 8.12. Perfils longitudinals dels barrancs de Ciutadella (36) i del de la cala d'en Bosc (40) (valors en m).

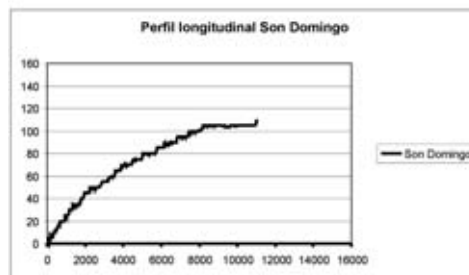
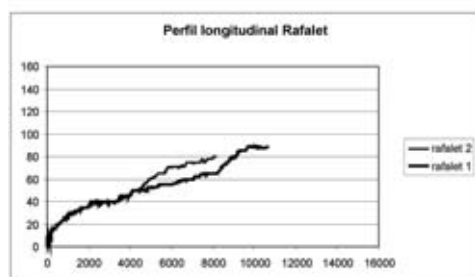
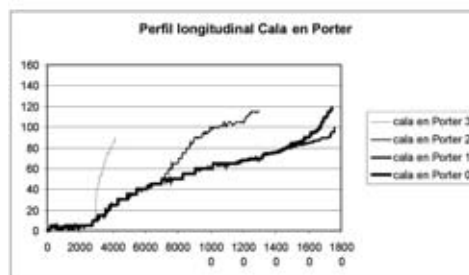
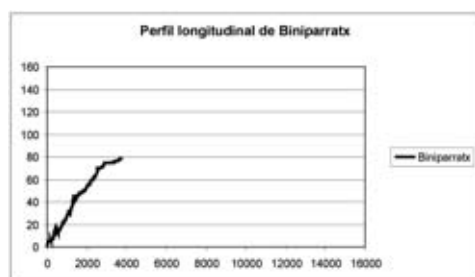
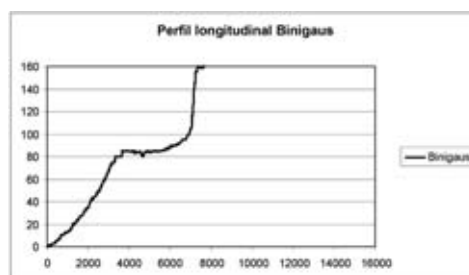


Fig. 8.13. Perfils longitudinals dels barrancs de Biniparratx (conca 62) i des Rafalet (conca 64).

Fig. 8.15. Perfils longitudinals dels barrancs de Cala en Porter (conca 57), Binigaus (conca 50) i Son Domingo (conca 58).

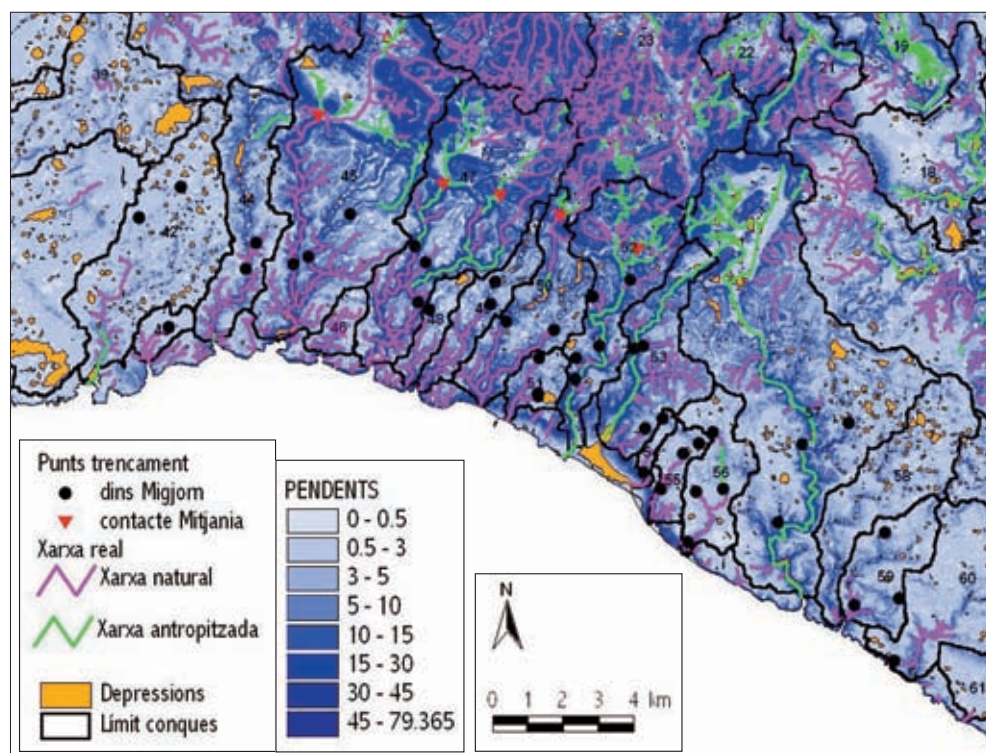


Fig. 8.16. Mapa de pendents del sector central sobre el que s'han representat les depressions i la xarxa de drenatge real (en morat els caixers naturals i en verd els artificials). Les màximes convexitats de cada perfil són indicades per punts i per triangles (en el darrer cas marquen molt bé el contacte amb Tramuntana).

indica també un important escolament subsuperficial. Al sector central, conviuen en una mateixa conca les dues tipologies, de manera que a les conques grans (44, 45, 47) normalment el barranc principal té un perfil còncau, mentre que els afluents tenen perfils variables (Fig. 8.14). De més a més, els barrancs menors que no passen a Tramuntana (Binigaus, Son Domingo) solen tenir perfils convexos o rectes (Fig. 8.15). Aquesta barreja és mala d'interpretar, però el fet que els eixos principals d'aquestes conques capturin la Tramuntana abona la hipòtesi que el responsable de la seua concavitat siga l'increment del cabal al llarg del riu (Langbein, 1964; Snow i Slingerland, 1987), mentre que els que redueixen la conca al Migjorn reben menys cabal i són convexos. No obstant això, les coses es compliquen perquè n'hi ha d'altres que són

curts i tenen perfils còncaus (50-2). Per tant, caldrà buscar altres factors que justifiquen aquesta interpretació.

Una de les qüestions que crida més l'atenció, són les irregularitats (o convexitats), tant en els perfils còncaus com en el convexos. Són trencaments de pendent que indiquen que el riu té alguna dificultat per a regularitzar el seu perfil. La distribució d'aqueixos punts⁴ sobre el mapa mostra una certa dispersió (Fig. 8.16), però se'n poden traure algunes conclusions. En primer lloc, hi ha una coincidència entre aqueixos punts i les crestes en determinades subconques (47a, 47c, 48, 49, 50-1, 50-2, 52a, 54 i 55b, entre altres), tot indicant possibles aflora-

4 Només s'han senyalat els punts de màxima convexitat, encara que en realitat en molts de casos l'anomalia abasta un tram més llarg del canal.

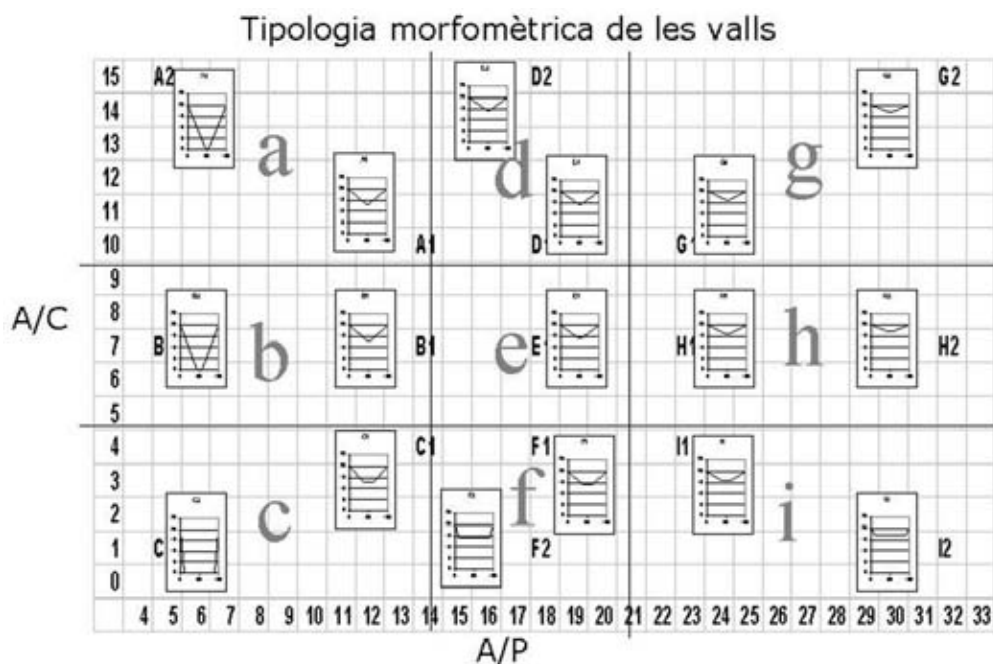


Fig. 8.17. En aquesta figura es mostra com s'ha definit, a partir de la relació entre els dos índexs utilitzats, els 9 tipus de perfils que corresponen a valls definides sobre el territori. El tipus k no apareix al gràfic degut a que no correspon realment al perfil d'una autèntica línia de drenatge. Al text queda explicat com s'ha definit. En la figura, junt amb els valors numèrics i les línies de divisió de cada tipus, es mostren gràficament les diferències morfològiques —molt simplificades— que hi ha entre cadascun dels tipus establerts.

ments de materials més durs. A la majoria dels casos, també hi ha una coincidència d'aqueixos trencaments de pendent amb el final dels caixers naturals i l'inici dels canals antropitzats, cartografiats al mapa 1/5000 (44, 48, 49, 51-1, 50-2, 51a, 51b, 52b, 55b, 56a, 56b, etc.). Aquest fet s'interpreta com que és el final de l'erosió remuntant; és a dir, es tracta de barrancs que estan reestructurant el seu perfil, ja que s'ha produït un canvi en el nivell de base que ha fet que l'erosió remuntant estiga actuant encara avui en dia per tal d'equilibrar novament el perfil. En altres paraules, estariem parlant de dues xarxes que conviuen: una que té com a nivell de base la mar actual i una altra que roman penjada a un nivell superior i que està sent capturada pels barrancs més actius, que troben dificultats per a superar unes crestes més dures.

Per altra banda, hi ha uns altres trencaments de pendent situats al contacte entre

Migjorn i Tramuntana (Fig. 8.16a), la qual cosa fa pensar en una captura més o menys recent de la Tramuntana per part dels barrancs del Migjorn (triangles dels barrancs 45a, 47a, 51-1, 52d), que encara no ha permès regularitzar del tot el perfil.

Els perfils longitudinals dels barrancs ens mostren que estem davant de dues xarxes: una antiga i una altra més recent. La primera responia a un antic nivell de base, que avui en dia ha canviat. Per això aquesta xarxa està canviant el seu perfil gràcies a l'erosió remuntant que ha estat més efectiva a les subconques majors, per les que circula més cabal. En canvi queda encara una xarxa antiga i penjada, clarament visible en determinades conques (42, 44a, 44b, 44c, 42, 45b, 45c, 47c, 48, 49, 50, 57), tal i com es pot veure figura 8.25. Aquesta xarxa, de més a més, travessa moltes depressions tancades que s'escalonen al llarg del perfil, tot indicant el paper important del carst.

Els perfils transversals

Una altra modalitat d'anàlisi feta a la xarxa de drenatge ha estat l'orientada a definir la morfologia de les valls atenent a la seua forma transversal. Per a reconèixer aquestes característiques s'ha aprofitat el Model Digital d'Elevacions per tal d'arribar a una anàlisi morfològica de la forma de la vall, sistemàtica i objectiva.

S'ha desenvolupat una eina informàtica —descrita amb detall per Pardo i Palomar (2002)— que permet extraure automàticament perfils transversals als eixos de les valls, com també una sèrie de paràmetres morfològics que ajuden a caracteritzar-los. En el present treball s'han analitzat més de 200 eixos de barrancs, fent-hi perfils transversals de 400 m d'amplària màxima cada 150 m, de forma que finalment s'ha disposat de 6348 perfils transversals sobre la pràctica totalitat de l'illa. Els paràmetres morfològics extrems de cada perfil són:

Amplària de la vall (A): és a dir, la distància reduïda entre els dos punts de cota màxima del perfil analitzat.

Amplària de la cubeta (C): distància entre aquells dos punts immediats a l'eix, la cota dels quals es troba 2 m per damunt de la del punt central del perfil. Amb aquesta dada es preten mostrar l'amplària de la llera o fons del barranc.

Profunditat de la vall (P): es considera l'increment de cota entre l'eix del barranc i l'altitud resultant de promediar les cotes dels dos màxims de cada costat del perfil.

Comptant amb aquests tres paràmetres, s'han pogut calcular dos índexs que els relacionen: per una banda, l'índex A/P amb el que es poden caracteritzar els barrancs molt o poc encaixats. El segon índex és la relació A/C amb la que es pretén distingir els barrancs encaixats en forma de V, on la llera és força estreta, respecte a aquells altres la forma dels quals s'acosta a una U, amb un fons de caixer molt ample respecte al conjunt de l'amplària de la vall. Utilitzant aquest dos índexs ha estat possible establir una tipologia de formes que combinen les dues modalitats de cada perfil trans-

versal, el grau d'encaixament i l'amplària relativa de la llera. A la figura 8.17 es presenta un gràfic que mostra, sobre l'eix d'abscisses la relació A/P i en les ordenades la relació A/C . Aquest eix ha estat segmentat en 9 regions que defineixen 9 dels 10 tipus diferenciats. Com pot advertir-se els tipus *a*, *b*, *c* es corresponen amb barrancs encaixats, mentre que els de tipus *g*, *h*, *i* es corresponen amb barrancs poc encaixats. Els tipus *d*, *e*, *f*, des d'aquesta perspectiva són tipus intermedis.

De més a més d'aquests 9 tipus, s'ha considerat útil definir-ne un 10è (*k*) que, en realitat, indicaria el perfil on un dels màxims no arribi a excedir 2 m per damunt de l'eix de barranc. En aquest cas o bé estarem sobre una plana o sobre un vessant, però en cap dels dos casos cal considerar-ho com un barranc.

Els resultats de la classificació es mostren sobre la figura 8.18, on apareixen la distribució del tipus de perfils caracteritzats i les quatre regions morfològiques definides en el treball de Pardo i Porres (en aquest volum). La distribució mostra, ben a les clares, l'ajustament que hi ha entre les distintes tipologies de barrancs i els límits de les regions establertes.

Al primer cop d'ull, el que més sobta és la clara diferenciació entre els tipus de barrancs del sector central i els dels sectors oriental i occidental del Migjorn. Aquest fet confirma el que prèviament s'havia advertit, tant en els treballs de fotointerpretació com al camp. Per a facilitar l'anàlisi s'ha confeccionat la taula 8.1 on s'indica la proporció de cadascun del tipus per a cada regió i la gràfica de la figura 8.19.

La diferència més evident la donen els barrancs molt encaixats a la zona central del Migjorn, que no es repeteixen a les altres regions. Es pot matisar, però, que al sector central de la zona de Tramuntana també hi trobem una proporció significativa de barrancs encaixats. A la zona occidental la inexistència de barrancs encaixats és pràcticament absoluta, mentre que a la zona oriental, encara que no siguin molt abundants, se'n troben a les desembocadures.

A la figura 8.19 es mostren, sobre cadascuna de les quatre regions establertes, les característiques d'encaixament de les valls.

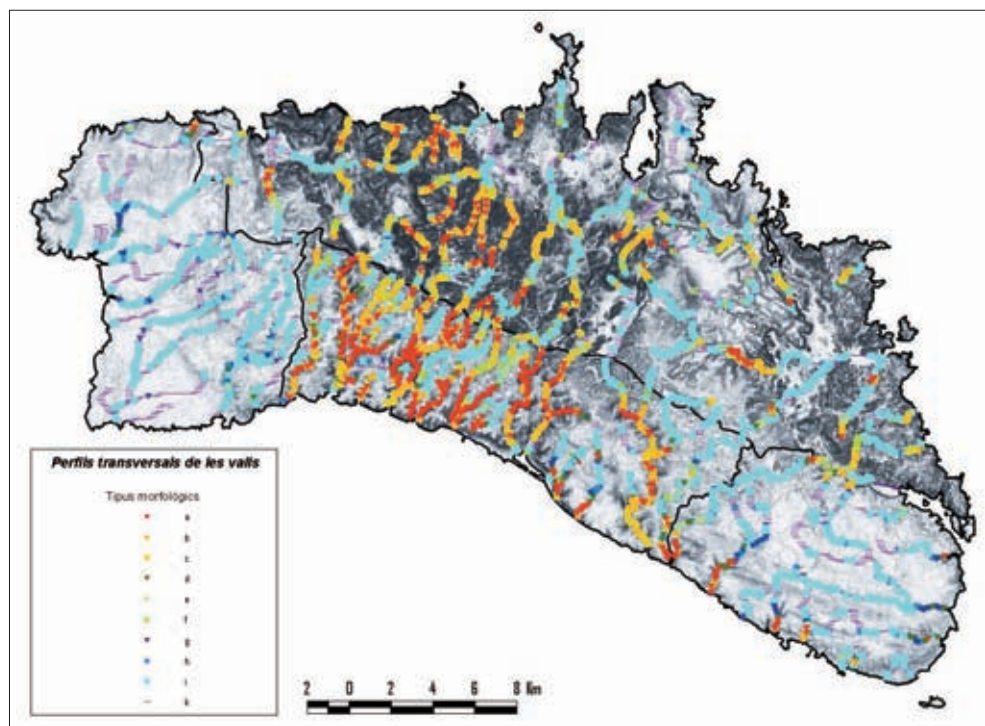


Fig. 8.18. Mapa de l'illa de Menorca on es mostra la distribució dels diferents tipus de perfils transversals. Sobre el mapa de pendents —tons més foscos indiquen major pendent i els més clars major planitud— es representen els límits entre la Tramuntana i el Migjorn i, dins d'aquest últim, els tres subsectors morfomètrics definits per Pardo i Porres (aquest volum).

Com es pot observar, la Tramuntana és la regió més diversa on es troben pràcticament totes les modalitats possibles i en proporcions relativament equilibrades. Les sub-regions del Migjorn, per contra, presenten un clar desequilibri: a la part central predominen clarament les valls molt encaixades, mentre que a l'oriental i a l'occidental el predomini és de les poc encaixades. L'anàlisi conjunta de la gràfica (Fig. 8.19), la taula 8.1 i el mapa (Fig. 8.18) permet interpretacions sobre els processos que han intervingut en la morfogènesi d'un espai tant complex com és el Migjorn de Menorca.

Al sector oriental del Migjorn, tal com evidencia la taula 8.1, dominen clarament els perfils de tipus *i*, és a dir, molt poc encaixats i en forma de U. En proporcions semblants s'hi troben els perfils *k* que en realitat corresponen a zones sense un caixer definit. Entre aquestes dues modalitats comptabilitzen pràcticament el

70% dels perfils analitzats. A molta distància s'hi troben els perfils de *b* i *g*, amb un 8% aproximadament cadascun i, en proporcions menors perfils de tipus *a*, *d*. Per a entendre la significació d'aquestes dades, caldrà mirar el mapa amb deteniment i advertir que els perfils de tipus *a* —és a dir, encaixats i amb forma de V— es localitzen prop de la desembocadura (el primer quilòmetre com a molt) i que, a mesura que pugem barranc amunt, el perfil esdevé menys encaixat, però mantenint la forma de V: açò es percep amb claredat a les conques 60, 62, 63 i 2. Hi ha casos com la 64 en què el perfil inicial és el *g*, i hi manca l'*a*. En tot cas, sembla advertir-se un progressiu encaixament dels barrancs com més prop som de la desembocadura; això s'hauria d'interpretar com que s'ha produït una incisió fluvial recent associada o bé a una baixada del nivell marí, o bé a un aixecament tectònic dels materials continentals.

Els perfils transversals de la xarxa de drenatge a les parts altes de la conca són de forma quasi exclusiva de tipus *i* o *k*. De fet, si s'analitza sobre el mapa, es pot advertir que a la majoria dels casos hi trobem barrancs poc encaixats i de secció en U, la forma dels quals es va difuminant intermitentment (perfils tipus *k*). Aquest fet podria atribuir-se a una antiga xarxa generada fluvialment —la que és evidenciada per les alineacions de perfils *i*— que posteriorment ha estat desorganitzada probablement perquè els factors morfogènètics fluvials han perdut paper, guanyant-ne, per contra, els processos de dissolució càrstica.

Al sector occidental del Migjorn, al primer cop d'ull, pot parèixer que s'assembla molt a la part oriental; tanmateix una anàlisi més acurada mostra trets distints que suggereixen que els processos morfogènètics han actuat de forma distinta. En aquesta zona el domini dels perfils *i* i *k* és aclaparador: més del 83%. La resta dels perfils són del tipus *b* o *g*, és a dir, valls molt poc incidides. A diferència de la part oriental, a les desembocadures d'aquí no hi trobem valls en V, resultat de la incisió fluvial, sinó que presenten perfils en *i* (com a les conques 35, 36, 37, 38, 39 i 43), o fins i tot del tipus *k* (com seria el cas de les conques 40, 41, 42). Aquest fet es podria considerar fluvialment normal si a la capçalera de les conques hi trobéssim perfils en V que mostraren l'encaixament però, com

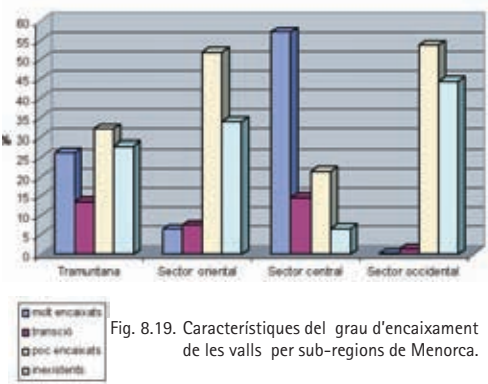


Fig. 8.19. Característiques del grau d'encaixament de les valls per sub-regions de Menorca.

es pot observar al mapa, la morfologia de les valls és pràcticament idèntica a la de les parts baixes. Aquest fenomen s'interpreta com que el sector ha patit un enfonsament tectònic general que n'ha desactivat la potencialitat morfogènètica fluvial en disminuir el pendent longitudinal dels barrancs.

El sector central és el que més diferències presenta respecte als altres dos i, també dins d'ell mateix. Hi ha una elevada proporció (un 54%) de barrancs profundament encaixats, que mostren totes les tipologies possibles en un grau més o menys significatiu. Resulta interessant que la majoria de les valls en V, a diferència del sector oriental, no les trobem a les desembocadures, sinó un poc més amunt. Les

Tipus	Tramuntana	Sector oriental	Sector central	Sector occidental
a	7,49	4,66	29,86	0,19
b	9,58	1,65	16,40	0,09
c	9,21	0,19	10,85	0,00
d	1,07	4,28	4,12	0,76
e	2,37	2,43	4,12	0,57
f	10,19	0,87	6,59	0,09
g	0,98	7,97	1,94	6,64
h	2,74	8,45	3,41	8,53
i	28,51	35,47	16,07	38,67
k	27,86	34,01	6,64	44,45

Taula 8.1. Percentatge de cada tipus de perfil sobre cadascuna de les sub-regions morfomètriques definides.

desembocadures, que en la majoria dels casos coincideixen amb àmplies cales, almenys als barrancs de conca més gran, solen presentar barrancs encaixats, però amb forma d'U (perfils de tipus *c* o perfils de transició *b*). Donat l'escàs pendent longitudinal de tots aquests barrancs, és perfectament imaginable que bona part dels trams finals en U durant la transgressió flandriana possiblement foren cales, fet que n'ajudaria a entendre l'actual morfologia. Ara, val a dir que aquests perfils transversals en U sobre barrancs molt encaixats no s'han desenvolupat de forma homogènia en tots el barrancs del Migjorn que arriben a la mar. Fet i fet hi ha una relació entre la superfície de la conca i l'allunyament de l'actual desembocadura del punt on comencen a trobar-se perfils de tipus *a*. És a dir, els barrancs de conca petita solen atènyer la costa amb un perfil encaixat i una llera estreta en comparança amb la magnitud de la vall, mentre que els trams finals dels grans barrancs (Algendar, Trebalúger, Son Boter, es Bec, cala en Porter) presenten un fons pla ben ample per on, en tot cas, pot circular un petit canal. Aquesta relació s'hauria de

tenir en compte per a tractar d'esbrinar la cronologia dels processos morfogenètics.

Un altre fet en què ens podríem fixar és com va canviant la morfologia del barranc a mesura que es puja en aquesta zona central del Migjorn. En trobem distints patrons:

- Per un costat els barrancs que corresponen a les conques que no superen la Mitjanja presenten perfils de tipus *a* a les parts més baixes —on connecten amb el nivell de base local, ja sigui la mar o el fons del barranc principal— i, progressivament enllacen amb una xarxa menys encaixada i, per regla general, amb forma d'U, predominant a les parts altes. Hi ha, per tant, una transició des dels perfils

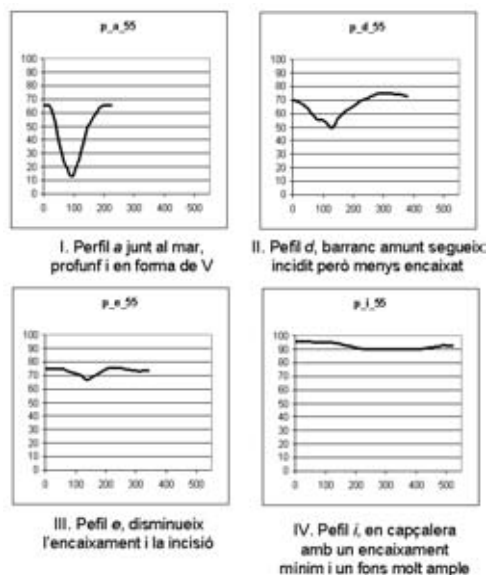


Fig. 8.20. Perfils transversals sobre el barranc de Llucarí on s'observa com canvia el perfil barranc amunt. El I està fet vora mar i el IV prop de la capçalera.

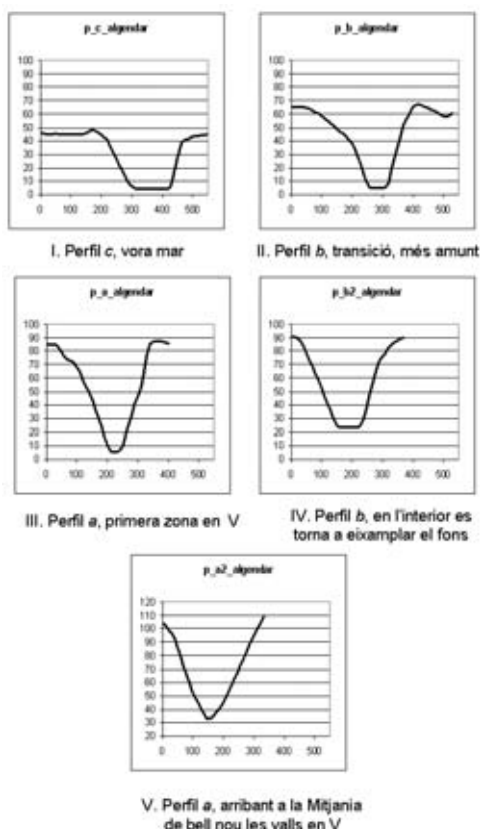


Fig. 8.21. Perfils transversals sobre el barranc d'Algendar on s'observa com canvia el perfil barranc amunt. El I està fet vora mar i el V prop de la Mitjanja.

molt encaixats i en forma de V, a perfils en d'U i molt més tesos. Exemples d'aquesta modalitat serien els de les conques 44, 46, 48, 49, 51, 54, 55, 56 i 58 o d'alguns dels afluent dels grans barrancs de les conques 45, 47, 52 i 53. L'exemple de la figura 8.20 mostra quatre perfils successius remuntant el barranc de Llucalari (nº 55): a baix trobem un perfil molt incidit de tipus *a*, un poc més amunt ja està menys encaixat, però continua essent en forma de V (tipus *d*). Encara hi ha una zona de transició on, sobre un perfil molt poc encaixat, comença a advertir-se la incisió lineal i, finalment, a dalt, dominen els perfils de tipus *i*, caracteritzats per una ampli fons de vall i un encaixament mínim. Cal dir que aquest patró de canvi de la morfologia s'assembla prou al que trobaríem a la zona oriental, si bé, en aquell cas, per regla general, el predomini del perfil *i* és superior i, de més a més, es troba intersectada, en moltes ocasions per perfils *k* que evidencien la segmentació de la xarxa de drenatge per probables processos de dissolució càrstica.

- Al cas dels barrancs encaixats que formen autèntics canyons la gran majoria dels quals, travessen la Mitjanja, la morfologia de la vall no segueix el patró anterior, sinó que sol iniciar-se vora mar amb perfils de tipus *c* que progressivament, curs amunt, va convertint-se en *b*. Un poc més amunt sol aparèixer un llarg tram —d'entre 1 i 2,5 km— dominat per perfils en *a* als que més enllà segueixen, a diferència del patró anterior, perfils igualment encaixats encara que amb un fons més ample (tipus *b*, *c*) i, encara alguns quilòmetres més amunt, quan ja ens acostem a la Mitjanja, de bell nou tornen a predominar els perfils de tipus *a*. D'aquest patró en serien exemple el barranc d'Algendar, el de Trebalúger, tant la branca principal com dos dels seus afluent principals, al barranc principal de la conca 52, 53 i, també, encara que de forma més complexa el de Cala en Porter. A la figura 8.21 es presenten, com exemple, cinc talls transversals fets a distintes altures del barranc d'Algendar.

El patró de canvis a la morfologia de les valls vist sobre els grans canyons que travessen la part central del Migjorn evidencia una morfogènesi prou més complexa que la que es pot deduir del patró dels barrancs més curts. Els

dos sectors on s'acusa la incisió lineal mostrarien, o bé variacions en la resistència dels materials o bé distintes fases evolutives. Pot ser interessant contrastar la rònega coincidència existent entre la variació en la forma de la vall i l'existència de les crestes o esglaons esmentades en el treball de Pardo i Porres (en aquest volum) i Rosselló (en aquest volum). Estudis més profunds hauran d'acabar d'aclarir aquestes qüestions.

LA GEOMORFOLOGIA DELS TORRENTS

A banda de la caracterització morfomètrica, l'anàlisi d'algunes peculiaritats dels barrancs també aporta idees sobre la seua gènesi i evolució. Qüestions com la incisió i el rebliment, els meandres i la classe de sedimentació són claus per a entendre la xarxa de drenatge tan particular de la plataforma miocènica.

Rebliment i incisió

Un dels trets que crida més l'atenció del barrancs del sector central és que les valls tenen la secció en U. Els fons plans (canalons), totalment antropitzats, s'ha convertit en camps de cultiu o en pastures per al bestiar (Fig. 8.22). Sigui per un procés natural (engolidors d'antigues dolines col·lapsades), sigui perquè l'home els ha anivellat, l'aigua no sempre hi corre amb fluïdesa i de vegades necessita l'ajut de les canalitzacions per a poder desaiuar amb facilitat. Això s'esdevé a tots els canyons que es formen al sector central, però també als altres que a prou penes s'encaixen uns quants metres.

La formació dels canyons és una altra qüestió interessant. Parets verticals, amb caigudes de 70-80 m són freqüents en molts de cursos, com ara al barranc d'Algendar, a Son Fonoll on hi ha una paret vertical de 70 m o a Cala Galdana, on té un desnivell de 60 m; a Trebalúger, prop de Son Mercer de Baix, on el torrent de Son Granot cau 70 m en vertical. El torrent de Son Boter, a sa Vall té un tall serrat de 80 m i el mateix torrent de Cala en Porter al



Fig. 8.22. Vista del barranc de sa Cova (afluent del barranc de Trebalúger), prop del poblat talaiòtic de Son Mercer de Baix. Es pot observar l'encaixament del barranc, el fons pla de la vall i el col·lapse d'una dolina que marca el meandre.

Tom de Biniarroi té també un desnivell de 80 m. Aquest encaixament tan espectacular i constant entre les conques 45 i 57 mostra un sector central sobreelevat per tectònica recent que n'ha potenciat la incisió vertical. De més a més, els canvis del nivell de la mar, haurien incrementat la potència erosiva dels barrancs. Així, els sondejos elèctrics fets a les conques baixes mostren que el fons està entre 30 i 50 m per baix del nivell de rebliment actual a cala Galdana (Pardo *et al.*, 1997). Els 70 m d'encaixament més els 50 m de rebliment, sumen un total de 100-120, la qual cosa implicaria una baixada semblant del nivell de la mar, que podria correspondre al darrer descens esdevingut fa uns 17000 anys (estadi isotòpic 2), quan la mar se situava uns 100 m per sota del nivell actual (Loewe i Walker, 1997; Rosselló *et al.*, 2002).

Els sondejos practicats a les cales (Fornós, 1999; Fornós *et al.*, 1998; Segura, Pardo i

Servera 1999; Fornós i Segura, 2003) indiquen que els materials dipositats són d'origen marí i tenen una edat holocènica i la potència del rebliment disminueix progressivament des de la costa fins a l'interior. Barranc amunt, ja en ambient clarament fluvial, no hi ha terrasses, la qual cosa significa que, des que va iniciar-se, el rebliment ha estat constant, sense episodis d'incisió rellevant.

A banda d'aquests canyons, hi ha una segona xarxa, de l'estil de les valls mortes que roman penjada 30 i 40 m sobre els canyons com passa a la capçalera del barranc d'Algondaret o al barranc de Binigaus (Es Migjorn Gran) sense gaire encaixament, amb trets molt clars d'influència càrstica per la presència de dolines i engolidors (conca 44, Fig. 8.25) i fons totalment plans i ocupats per l'home (conca 45). Aquests barrancs són els que presenten perfils longitudinals convexos i estan sent capturats pels torrents principals de perfil còncav.

També és important mencionar un grup de petits barrancs repartits per tota la plataforma que a la seua desembocadura no tenen el rebliment de tipus albuferenc, propi de les cales, i que estan avui en dia encaixant-se, com ara el barranc de Sant Llorenç o els de les conques 48, 49 i 50, 63 o 64. Sembla per tant, que el seu nivell de base és ben diferent del dels torrents encaixats.

D'aquestes observacions se'n deriva la idea que al menys hi ha cinc tipus de barrancs diferents: els del sector oriental, els de l'occidental, els canyons centrals, els barrancs de fons pla penjats i els barrancs d'encaixament recent.

Divisòries, captures i drenatge difícil

El drenatge de la plataforma miocènica, malgrat que la xarxa abasta canyons impressionants, és difícil. L'existència de nombroses depressions càrstiques i de zones quasi planes —especialment a les capçaleres dels torrents principals— complica considerablement la delimitació de les conques; fins i tot al fons dels canyons subsisteixen espais deprimits, formats pel col·lapse de dolines o pòlies, dels que només resten espais marjalencs drenats artificialment.

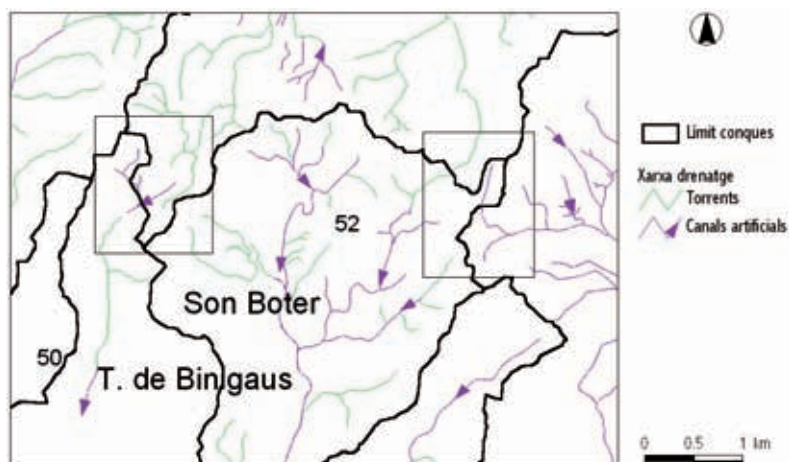
Les divisòries són tant febles a la Mitjanja que la xarxa teòrica presenta diferències consi-

derables amb el traçat de la real. Així a la figura 8.23 hi ha dos exemples corresponents als barrancs de Binigaus i de Son Boter, on el model digital d'elevacions defineix unes divisòries que no s'adapten als torrents naturals ni han estat respectades per les canalitzacions antròpiques, la qual cosa és indicativa de la feblesa dels pendents.

Un altre cas ben cridaner és el de la conca del barranc de Ciutadella, on hi ha nombrosos barrancs que es perden, per a reparèixer després, aigües avall, prop de Ciutadella. La xarxa simulada mostra la continuïtat hidrològica, que no la morfològica. Aquest fet probablement es deu a un enfonsament i podria tenir una causa tectònica (Fig. 8.24).

Un fenomen certament especial és l'existència d'un doble meandre, prop de la naveta des Tudons (conca del barranc de Cala Santandria), totalment desconnectat de qualsevol torrent (Fig. 8.24). Els treballs de camp confirmen que es tracta d'un tram lleugerament encaixat a la plataforma i amb nombroses coves funeràries a les parets. El més interessant però, és que hi ha contrapendents, de manera que l'aigua ha de córrer cap al centre dels meandres, perdent-se en un o més engolidors. D'altra banda, la xarxa simulada enganxa aquests dos meandres a uns afluents inexistents, però totalment coherents (Fig. 8.24). Més al sud, la depressió de sa Marjal (conca 40)

Fig. 8.23. Divisòria i xarxa natural (en verd) i antròpica (en morat) a les capçaleres del barranc de Binigaus (50) i Son Boter (52). Els desnivells són tan febles que les divisòries no coincideixen amb la xarxa.



sembla tenir també una causa tectònica. Tot això fa pensar en un sector occidental fracturat o almenys basculat cap a la mar, sent aqueix enfonsament responsable de la manca de la xarxa de drenatge. Ara bé, també hi cabria una altra interpretació: sent que existeixen afloraments quaternaris d'arena prop de la naveta des Tudons, seria possible que una transgressió marina hagués desdibuixat i desorganitzat la xarxa de drenatge? Aquesta hipòtesi, encara que viable, requeriria nivells de la mar molt elevats. D'altra banda, a la part occidental, les zones deprimides del costat de Sant Climent i de l'aeroport tenen un origen clarament càrstic (Ginés i Fornós en aquest llibre).

Un altre problema interessant és la connexió hídrica existent entre Migjorn i Tramuntana. Tot arreu de la Tramuntana els materials blans —fonamentalment triàsics— han patit un buidatge difícil d'explicar amb la xarxa de drenatge actual. Sembla, però, que hi ha hagut una captura per part dels torrents de la plataforma, que només ha estat efectiva en els canals principals. Els afluents s'aturen a la zona de contacte i no han estat capaços de travessar a l'altre costat. A la capçalera del barranc d'Algendaret (Fig. 8.25) s'observa ben bé el comportament d'aquesta xarxa secundària i alguna cosa semblant passa a les conques 47 i 49. D'altra banda, l'espadat que forma la plata-

forma miocènica a la zona de contacte amb Tramuntana, com també l'existència d'esglaons en el perfil longitudinal en aquest punt, són elements que apunten a una captura prou recent de la Tramuntana per part de la xarxa del Migjorn. Qüestió ben diferent és precisar per on i quan s'ha produït el buidatge dels materials blans de Tramuntana. Òbviament, des que hi ha la connexió, l'erosió haurà estat efectiva, però les dificultats de drenatge en aquest sector —on quasi tots els canals són artificials— i les zones buidades per tot arreu, fins i tot per on no hi ha xarxa, fan pensar en una eliminació prèvia, que no necessàriament s'ha evacuat pel Migjorn.

Fins i tot, quan hom observa la xarxa de la zona de contacte en fotografia aèria, dóna la impressió que el drenatge ha canviat de sentit en alguns sectors. Això s'observa prou bé a la capçalera del torrent de Cala en Porter, on part dels afluents corren cap al nord (plans d'Alaior), encara que la direcció actual del escolament sigui cap al sud.

Els processos i les formes fluvials

Una de les qüestions més cridaneres dels torrents menorquins, —especialment dels canyons— és l'absència de càrrega de fons. Les

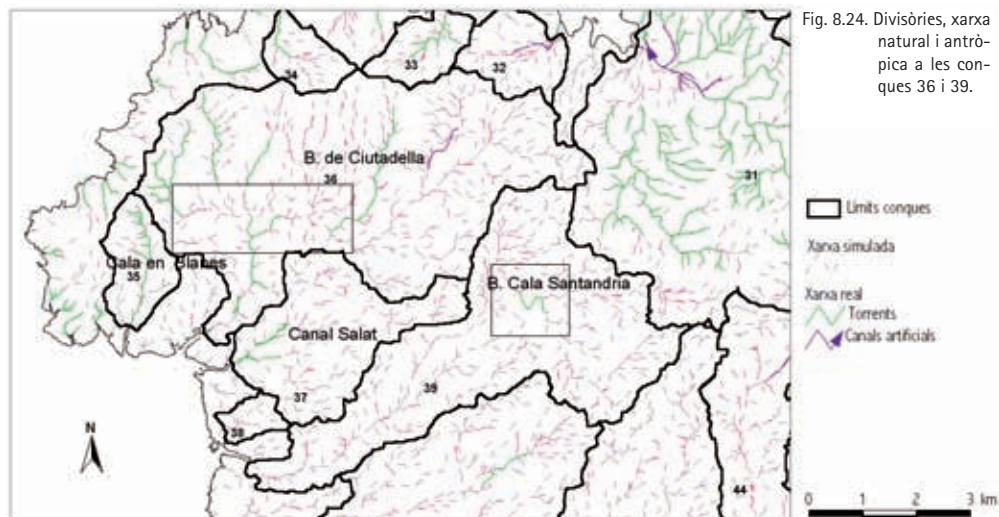


Fig. 8.24. Divisòria, xarxa natural i antròpica a les conques 36 i 39.

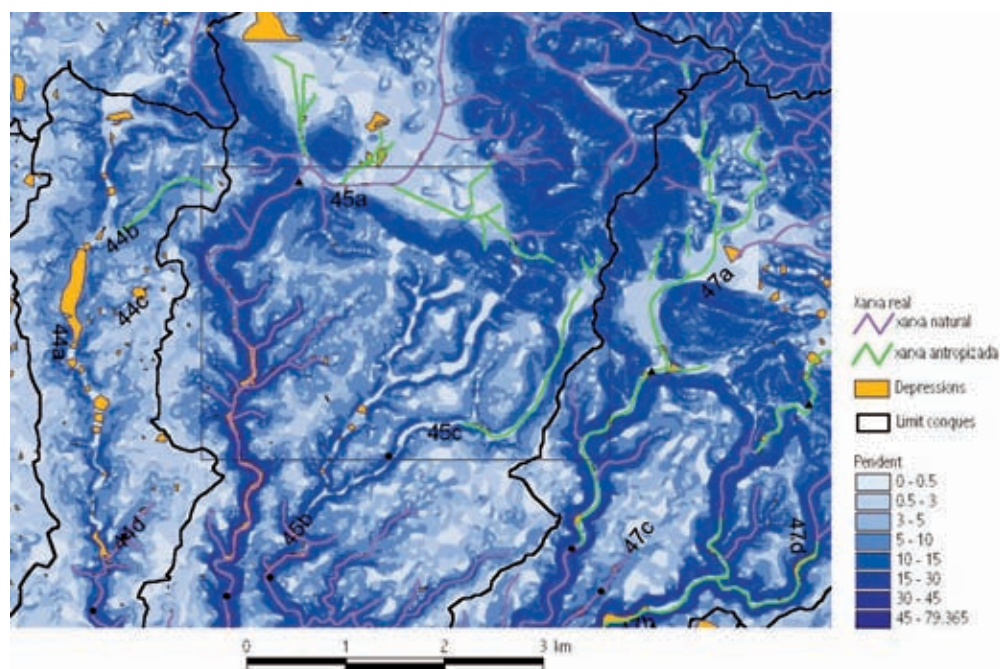


Fig. 8.25. Mapa de pendents i xarxa de la conca 45. El barranc principal captura la Tramuntana, mentre que els afluents es queden al Migjorn.

arenas i les argiles de descalcificació són els materials transportats de forma majoritària pels barrancs. Les graves i els còdols amb rodament fluvial pràcticament són inexistents —si n'hi ha algun, és de tipus angulós— i en cap cas hi ha dipòsits fluvials als llits.

Aquests fets, que són ben desconcertants tractant-se de rius, no són fàcils d'explicar. En algun cas es pot acudir a l'evacuació subterrània dels sediments, com s'observa en algun tall que hi ha a la carretera de Sant Tomàs, on apareix un conducte càrstic reblit de graves fluvials empastades per materials fins. No obstant això, la dinàmica fluvial segueix sense explicació.

Una de les hipòtesis per a l'absència de material gruixut és la pròpia meteorització de les calcarenites miocèniques, que se disgreguen en arenas, sent les argiles restes de la descalcificació, que arriben als torrents a través dels conductes càrstics (Fig. 8.26). Per altra part, l'absència de formes fluvials als caixers es pot justificar per la pròpia activitat de l'home, que previsiblement les destrueix després de les

revingudes per tal d'anivellar els camps. Les mateixes parets possiblement han retingut un excés de fracció fina, que l'aigua s'hagués emportat amb molta més facilitat si els caixers fossin totalment naturals.

Un altre tret interessant és l'evolució de les parets dels canyons, on hi ha senyals clars de circulació subterrània, amb coves i conductes relictos i també s'hi identifiquen processos de vessant. Esbaldrecs, i fins i tot, alguna esllavissada mantenen un retrocés quasi vertical de les parets, les restes dels quals s'acumulen a la base. No sembla que la circulació fluvial efectue cap sapa basal; més tost sembla que és l'home qui redistribueix els sediments.

També caldria fer alguna reflexió sobre la funcionalitat dels torrents menorquins. Els més importants, especialment el barranc d'Algendar, posseeixen circulació hídrica contínua en bona part del tram final. És cabal de base procedent de l'aqüífer que tallen els canyons i que es manifesta a través de les fonts que hi ha a les parets i al fons. No tenim quasi cap

informació, però, de revingudes recents, encara que les notícies orals confirmen que n'hi ha hagut, no sols als torrents principals sinó també a barrancs com el des Rafalet (conca 64). No obstant això, el període de recurrència deu ser molt elevat, ja que en cas contrari, tampoc seria ni probable ni rendible l'ocupació antròpica de les lleres. Ara, si avui en dia són poc funcionals, és d'esperar que en altres moments del Plioquaternari l'activitat hídrica hagi estat major.

HIPÒTESI SOBRE LA FORMACIÓ DE LA XARXA DE DRENATGE

Tant la presència com l'absència de drenatge al conjunt de la plataforma carbonàtica requereix una explicació que no és simple, ja que hi intervenen el carst, la tectònica i l'ac-



Fig. 8.26. Vista del barranc d'Algendar, prop de cala Galdana, on s'observa com es rebleixen els fons dels barrancs amb argiles de descalcificació (*terra rossa*) que hi arriben a través dels conductes càrstics.

ció fluvial. La combinació dels tres factors crea una complexitat que no permet dilucidar clarament el grau de responsabilitat de cadascun dels processos.

D'antuvi, la zona oriental i l'occidental, mancades de xarxa, experimenten un predomini dels processos càrstics; de fet són les zones que tenen una major superfície endorreica. Al tractar-se d'espais plans —més la part oriental que l'occidental, que té un declivi suau— l'absència de pendents dificulta la gènesi dels canals. També les fàcies esculloses que afloren als dos extrems de l'illa, en ser molt permeables, afavoreixen l'escolament subsuperficial i dificulten el drenatge superficial.

Al sector central, els pendents forts justifiquen la formació d'una xarxa molt encaixada. En aquesta part, però, la convivència amb una xarxa a prou penes dibuixada i gairebé penjada uns 30 m sobre el barrancs encaixats, fa que haguéssim de pensar en una altra xarxa anterior. De més a més l'existència dels barrancs sense rebliment final, suggereix també un altre tipus de torrents. Aquests darrers estarien evolucionant a partir de nivell actual de la mar per erosió remuntant i amb l'ajut del col·lapse de dolines i de conductes càrstics, tal com succeix al barranc de Torrevella, a la cala de Sant Llorenç (Fig. 8.27).

Així, doncs, al sector central, podríem definir fins a tres xarxes diferenciades, que conviuen amb espais sense torrents, encara que tot l'espai posseeix una mateixa litologia. Per tal d'explicar la formació de la xarxa, cal partir d'una plataforma escullosa, adossada al blocs del sòcol de Tramuntana, que ha patit una compressió que va reactivar les falles del sòcol, provocant la formació d'un anticlinal, amb un radi ampli de curvatura, l'eix del qual estaria situat en una línia que va de Son Bou als plans d'Alaior. Aquesta empenta determina un bloc central sobreelevat, que abastaria les conques compreses entre la 42 i la 56, de drenatge dominant N-S i amb conques intermèdies com la 46, la 48 i la 49. La forma allargassada de les conques, amb un ardoniment que creix cap a la Tramuntana i els majors pendents dels sector (Fig. 8.5), fa pensar en una compressió diferen-



Fig. 8.27. A la imatge s'observa com el col·lapse de dolines i la circulació càrstica pels conductes subterranis contribueixen a la formació del barranc de Torrevella, a cala Llucalari, per erosió remuntant des de la mar.

cial; és a dir, ha estat plegada com un acordió lleugerament més tancat pel Migjorn que per Tramuntana. La major pressió exercida sobre la part meridional, hauria provocat línies de debilitat més pròximes, facilitant així la formació de conques estretes, que s'eixamplarien a les zones menys comprimides de Tramuntana. Això també explicaria l'allargament cap a la part meridional de l'illa, que hauria fet un gir dextrògiri, almenys en la seua meitat oriental.

Per altra part, al sector central també s'observen petites conques que a prou penes penetren cap a Tramuntana. La seua xarxa de drenatge, de més a més, presenta alguns afluents paral·lels a la costa i a poca distància de la mar. Aquest fet també es podria interpretar com la formació de petits esglaons semblants als produïts a Son Bou i Sant Tomàs. Possiblement, la mossegada que mostra la costa del sector central de l'illa sigui conseqüència d'un trencament paral·lel a la costa, que ha deixat petits esglaons, que dins d'un espai pla com és la plataforma del Migjorn, hagin estat suficients per a actuar de divisòries de petites conques.

Altament, el sector oriental abastaria la resta del Migjorn, amb conques de direcció que va girant progressivament des del NW-SE fins a E-W; tanmateix, per les seves característiques es pot entendre que les conques 57, 58 i 59 són de transició.

Tota aquesta activitat tectònica hauria produït un increment del pendent del sector central, que al llarg del Quaternari hauria provocat la reorganització d'una xarxa de drenatge primitiva, que possiblement correspondria a les valls mortes que encara queden al sector central. De més a més, els canvis de nivell de la mar, sobretot a l'estadi 2, haurien produït un

fort encaixament formant-se els canyons centrals. Aquesta idea concorda també amb els experiments fets per Parker (1977) on simula un model de xarxa amb un descens del nivell de base. És un model caracteritzat pel creixement ràpid d'un canal molt llarg de 1er ordre que avança ràpidament cap a la capçalera, al que s'afegeixen després alguns tributaris paral·lels. El resultat n'és una xarxa que creix ràpidament cap a la capçalera, degut a l'increment inicial de pendent provocat pel descens de nivell de base, però la densitat de drenatge final de la xarxa és molt baixa. Aquest model descriu perfectament la xarxa del sector central del Migjorn.

Per altra part, els aqüífers s'haurien adaptat als canvis de nivell de base i això hauria facilitat la reactivació del carst, especialment en moments de descens de la mar. El reblliment dels barrancs s'hauria produït al llarg de l'Holocè —almenys als sectors finals— procés que continua en l'actualitat, ja que no s'observa la formació de terrasses. D'altra banda, l'estabilització recent del nivell de la mar justificaria la formació d'una xarxa menys desenvolupada, que té de referència el nivell 0 m i per aquest motiu no té reblliment a les cales. Serien els barrancs del sector central, com ara les conques 48, 49, però també la 61, 62 i 64 entre altres.

Agraïments

El present estudi ha estat possible gràcies al finançament del projecte d'investigació BTE2002-045552-C03-01 del Ministeri de Ciència i Tecnologia.

BIBLIOGRAFIA

- BOURROUILH, R. 1983. *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). La terminaison Nord-orientale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale*. Memorias del Instituto Geológico y Minero de España, 99, 672 pp.
- COSTA-CABRAL, M.C. i BURGÉS, S.J. 1994. Digital elevation model networks (DEMON): a model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas, *Water Resources Research*, 30(6): 1681-1692.
- FORNÓS, J. J. 1999. Rebliment holocènic de la vall incisa de Santa Anna, Sud de Menorca (Mediterrània occidental). En: *Geoarqueologia i quaternari litoral. Memorial M^a Pilar Fumanal*, 342-355. Universitat de València, València.
- FORNÓS, J. J.; FUMANAL, M. P.; PONS, G. X; BARÓN, A.; FORNÉS, A.; PARDO, J. E.; RODRÍGUEZ PEREA, A.; ROSSELLÓ, V. M.; SEGURA, F. S. i SERVERA, J. 1998. Rebliment holocènic a la vall incisa del Barranc d'Alendar (Cala Galdana, sud de Menorca, Mediterrània Occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 173-189.
- FORNÓS, J. J. i SEGURA, F. S. 2003. El relleno de los fondos de los barrancos del Migjorn de Menorca. En: ROSSELLÓ, V; FORNÓS, J.J.; GÓMEZ-PUJOL, LL. : *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Història Natural de les Balears, Mallorca. AGE, Univ. València, 226 pp., cf. pp. 111-123.
- FORNÓS, J. J. i OBRADOR, A. 2003. Geologia de Menorca. En: ROSSELLÓ, V; FORNÓS, J.J. i GÓMEZ-PUJOL, LL. : *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Història Natural de les Balears, Mallorca. AGE, Univ. València, 226 pp., cf. pp.31-48.
- GARCÍA SENZ, J. M. 1985. *Estudio geomorfológico del karst del Migjorn menorquín*. Tesis de licenciatura. Departamento de Geodinámica Externa e Hidrogeología. Universitat Autònoma de Barcelona, 51 pp. Inèdita.
- GELABERT, B. 2003. La estructura geològica de Menorca: las zonas de Tramuntana y Migjorn. En: ROSSELLÓ, V; FORNÓS, J.J. i GÓMEZ-PUJOL, LL.: *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Història Natural de les Balears, Mallorca. AGE, Univ. València, 226 pp., cf. pp. 39-48.
- GELABERT, B; FORNÓS, J. J.; PARDO, J. E.; ROSSELLÓ, V. M. i SEGURA, F. S. (en premsa). Structural controlled drainage basin development in the South of Menorca Island (Spain). *Geomorphology*.
- GINÉS, J. 2003. El modelado kárstico de Menorca. En: ROSSELLÓ, V; FORNÓS, J.J. i GÓMEZ-PUJOL, LL. : *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Història Natural de les Balears, Mallorca. AGE, Univ. València, 226 pp., cf. pp. 65-71.
- GREGORY, K. J. i WALLING, D. E. 1983. *Drainage basin: form and processes. A geomorphological approach*. E. Arnold, London, 458 pp.
- JENSON, S.K. i DOMINGUE, J.O. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information systems analysis, *Photogrammetric Engin. Remote Sensing*, 54: 1593-1600.
- KNIGHTON, D. 1998. *Fluvial forms and processes. A new perspective*. Arnold, London, 383 pp.
- LANGBEIN, W. B. 1964. Profiles of river of uniform discharge. *United States Geological Survey Professional Paper*, 501 B, 119-122.
- LOEWE, J. J. i WALKER, M. J. C. 1997. *Reconstructing Quaternary environments*. Harlow, Longman, 446 pp.
- LLAMAS, J. 1993. *Hidrología General*. Universidad del País Vasco, 635 pp.
- LÓPEZ-GARCÍA, M.J. i CAMARASA, A.M., 1999. Use of geomorphological units to improve drainage network extraction from a DEM. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 1 (3/4): 187- 195.
- MAESTRO CANO, I.C., PARDO PASCUAL, J.E. i PORRES DE LA HAZA, M.J. 2003. Mejoras en la extracción automática de redes de drenaje aplicando el modelo área-pendiente, en *IX Conferencia Iberoamericana de SIG: De lo local a lo global. Nuevas tecnologías de la información geográfica para el desarrollo*, 15 pp. (llibre electrònic).
- O'CALLAGHAN, J.F. i MARK, D.A. 1984. The extraction of the drainage networks from digital elevation data, *Computer Vision Graphics and Image Processing* 28: 323-44, 1984.
- PARDO PASCUAL, J.E. i PALOMAR VÁZQUEZ, J. 2002. Metodología para la caracterización geomorfológica de los barrancos del sur de Menorca mediante perfiles transversales. *X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, ISBN: 84-87528-47-3. Valladolid, septiembre, 2002.
- PARDO, J.; GARCÍA, F.; FORNÓS, J.; RODRÍGUEZ, A. i CERVERA, T. 1997. Caracterización de los fondos de las calas y los barrancos menorquines mediante sondeos eléctricos, en *Dinámica litoral-interior, Actas del XV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Santiago de Compostela, pp. 191-203.
- PARKER, R. S. 1977. *Experimental study of drainage basin evolution and its hydrologic implications*. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, Hydrology Papers, 90.
- QUINN, P.F., BEVEN, K.J., CHEVALLIER, P. i PLANCHON, O. 1991. The prediction of the hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models, *Hydrological Processes*, 5: 59-79.
- RODRÍGUEZ ITURBE, I. i RINALDO, A. 1997. *Fractal river basins. Chance and self-organization*. Cambridge University Press, Cambridge, 547 pp.
- ROSELLÓ, V. M. 2003. Geomorfología general de Menorca. En: ROSSELLÓ, V; FORNÓS, J.J. i GÓMEZ-PUJOL, LL.: *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Història Natural de les Balears, Mallorca. AGE, Univ. València, 226 pp., cf. pp.49-63.
- ROSELLÓ, V. M.; FORNÓS, J. J.; GELABERT, B.; GIMÉNEZ, J.; GINÉS, J.; PARDO, J. i SEGURA, F. 2002. El papel del karst en el macromodelado litoral: el ejemplo de las calas de las Islas Baleares. *Karst and environment*, 329-335.
- SEGURA, F. S; PARDO, J. E i SERVERA, J. 1999. Tectònica i karst al Migjorn de Menorca: el Prat de Son Bou. En: *Geoarqueologia i quaternari litoral. Memorial M^a Pilar Fumanal*, 435-446. Universitat de València, València.
- SMITH, D. I. 1975. The problems of limestone dry valleys. Implications of recent work in limestone hydrology. In PEEL, CHISHOLM i HAGGET (eds.): *Processes in physical and human Geography*. University of Bristol, Heineman Educational Books Ltd., 415 pp., cf. pp. 130-147.
- SNOW, R. S. i SLINGERLAND, R. L. 1987. Mathematical modelling of graded river profiles. *Journal of Geology*, 95: 15-33.
- STRAHLER, A. 1981. *Geografía Física*. Ed. Omega, Barcelona, 767 pp.
- TARBOTON, D.G., 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resour. Res.*, 33: 309-319.
- TURCOTTE, R., FORTIN, J.P., ROUSSEAU, A.N., MASSICOTTE, S. i VILLENEUVE, J.P. 2001. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *Journal of Hydrology*, 204: 225-242.
- VOGT, J.V., COLOMBO, R. i BERTOLO, F. 2003. Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics. *Geomorphology*, 53: 281-298.